汽/车/故/障/分/析/详/解/丛/书

汽车底盘

故障分析详解

QICHE DIPAN GUZHANG FENXI XIANGJIE

李清明 ◎ 主编

下册

★针对故障讲原理，明确分析思路与方法，特别助于维修人员提高实际故障分析能力

★系统讲述新技术应用与检修

★适于技能型高级职业技术教育以及高级工、技师培训






机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

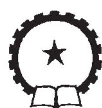
LANZAROTE Caliente.COM

汽车故障分析详解丛书

汽车底盘故障分析详解

下册

李清明　主编



机 械 工 业 出 版 社

本书较全面地介绍了汽车底盘常见的故障现象、故障原因、一般检查步骤和一些诊断技巧。内容主要涉及悬架、转向系统与制动系统等，对影响汽车行驶、操纵性能、舒适性的底盘故障均有阐述。本书实用性较强，内容较丰富，通俗易懂，图文并茂，针对汽车底盘各种常见故障，既有较全面的理论分析，又有较合理的诊断检查程序，也给出了一些诊断排除技巧和维修时的注意事项，并介绍了一些具有代表性的故障实例。本书重点突出底盘故障诊断的思路与方法，最新底盘结构与控制原理。

本书适合于汽车使用维修检测技术人员、汽车相关专业的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车底盘故障分析详解．下册/李清明主编．—北京：机械工业出版社，2010.11

(汽车故障分析详解丛书)

ISBN 978-7-111-31190-4

Ⅰ.①汽…　Ⅱ.①李…　Ⅲ.①汽车－底盘－故章诊断　Ⅳ.①U472.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 126200 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037)

策划编辑：齐福江　　责任编辑：孙　鹏

责任印制：李　妍　　封面设计：王伟光

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2010 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm・20 印张・493 千字

0001－3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-31190-4

定价: 45.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

社服务中心：(010)88361066

销 售 一 部：(010)68326294

销 售 二 部：(010)88379649

读者服务部：(010)68993821

网络服务

门户网：http://www.cmpbook.com

教材网：http://www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

前　言

《汽车底盘故障分析详解》是《汽车发动机故障分析详解》的姊妹篇。本书介绍了汽车底盘常见的故障现象、故障原因、诊断方法和思路、诊断与排除程序等。书中不仅对传统底盘的结构、原理和常见故障检修等方面进行了阐述，也针对当前汽车底盘的发展现状，对底盘新技术、新结构进行了深入分析。为引导读者尽快提高诊断与排除汽车底盘故障的能力，本书除对汽车底盘常见故障的诊断基本思路和方法进行了归纳总结和分类外，还介绍了一些故障实例。

本书力求做到以下三点：一是理论和实践相结合，既有对故障产生机理的理论分析，又阐述了底盘的典型故障排除实践；二是通俗易懂，图文并茂；三是内容实用、全面，涉及汽车底盘传动系统、行驶系统、制动系统、转向系统等方面的内容，既讲解了汽车底盘传统结构，又反映了当前汽车底盘的最新技术。

本书根据编者多年的汽车维修实践心得，参考了大量的最新维修资料、国内汽车期刊编著而成，在此谨向所有的有关作者和厂家表示衷心的感谢！

本书由李清明主编，参加编写工作的还有冯兆凯、程森、刘汉军、朱文韬、阳红、李向浪、戴圻春、林海波、黄世凯、朱先垒、张天柱、梁林、梁业庆、周敏年、周柱年等。编写过程中，得到了深圳高级技工学校、深圳技师学院汽车技术系老师的大力支持和指导，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免会有缺点和错误，希望读者不吝赐教，批评指正。

深圳高级技工学校　李清明

目　录

前言
第一章　转向系统、行驶系统故障的诊断与分析……1
一、转向沉重故障的诊断与分析……1
二、转向不稳故障的诊断与分析……3
三、转向轮摆振故障的诊断与分析……4
四、行驶跑偏故障的诊断与分析……5
五、转向盘回正不良故障的诊断与分析……7
六、单边转向不足故障的诊断与分析……8
七、转向时有异响故障的诊断与分析……8
八、轮胎异常磨损故障的诊断与分析……9
九、故障诊断的相关要点……10
（一）动力转向系统的结构与工作原理……10
（二）液压动力转向系统的检查与调整……56
（三）悬架结构与行车高度……59
（四）四轮定位的理论与实践……77
（五）行驶跑偏原因分析……95
十、故障实例……100
第二章　制动系统故障的诊断与分析……108
一、制动不灵故障的诊断与分析……108
二、制动失效故障的诊断与分析……114
三、制动跑偏故障的诊断与分析……114
四、制动拖滞故障的诊断与分析……116
五、制动时制动踏板抖动故障的诊断与分析……118
六、无ABS功能故障的诊断与分析……119
七、制动时异响故障的诊断与分析……121
八、故障诊断、排除的相关要点……122
（一）防抱死制动（ABS）系统……122
（二）电子制动力分配（EBD）系统……142

（三）制动辅助系统（BAS） …… 144
（四）TRC、ESP 与 VDC 系统 …… 159
（五）丰田电子控制制动系统（ECB） …… 174
（六）奔驰轿车 SBC 感应式主动制动系统 …… 213
九、故障排除实例 …… 219
第三章　底盘其他系统故障诊断与分析 …… 230
一、双离合器直接换挡变速器 …… 230
二、电子机械驻车制动装置 …… 254
三、故障实例 …… 269
第四章　汽车振动、噪声综合故障的诊断与分析 …… 272
一、汽车振动、噪声、乘坐舒适性差的现象、原因与机理分析 …… 272
二、汽车振动、噪声检查诊断的一般程序 …… 281
三、故障诊断、排除的相关要点 …… 291
四、故障实例 …… 309

第一章　转向系统、行驶系统故障的诊断与分析

一、转向沉重故障的诊断与分析

1. 故障现象

汽车行驶中，驾驶员向左、右转动转向盘时，感到沉重费力，无回正感；汽车低速转弯行驶和掉头时，转动转向盘感到非常沉重，甚至打不动。

2. 故障主要原因及处理方法

转向沉重的根本原因是助力系统不良、转向轮气压不足或定位不准，转向系传动链中出现配合过紧或卡滞而引起摩擦阻力增大。具体原因主要有：

1）转向轮轮胎气压不足，应按规定充气。

2）转向助力装置失效或有故障。

① 液压动力转向装置转向油罐动力转向液不足。

② 液压动力转向助力泵传动带损坏或打滑，应予调整或更换。

③ 液压动力转向助力泵调节阀失效，使输出压力过低，应予更换或调整。

④ 液压动力转向助力泵磨损过甚，导致液压过低。

⑤ 液压动力转向控制阀不良或密封环损坏。

⑥ 液压动力转向器动力缸活塞密封圈损坏。

⑦ 电控液压动力转向系统转向控制电磁阀不良。

⑧ 动力转向装置电控系统电路或 ECU 不良。

⑨ 液压动力转向系统液压回路中有堵塞或泄漏现象。

⑩ 电动机电动转向系统的转矩传感器、电动机不良等。

3）转向轮本身定位不准或车轴、车架变形造成转向轮定位失准，应校正车轴和车架，并重新调整转向轮定位。

4）转向器主动部分轴承调整过紧或从动部分与衬套配合太紧，应予调整。

5）转向器主、从动部分的啮合间隙调整过小，应予调整。

6）转向器缺油或无油，应按规定添加润滑油。

7）转向器壳体变形，应予校正。

8）转向管柱转向轴弯曲或套管凹瘪造成互相碰擦，应予修理。

9）转向传动拉杆球头连接处过紧或缺油。

10）对采用非独立悬架的货车来说，转向节主销与转向节衬套配合过紧或缺油，或转向节推力轴承缺油，应予调整或添加润滑脂等。

3. 故障诊断的一般步骤

转向沉重的主要原因是轮胎气压不足、助力装置不良、转向轮定位不准、缺少润滑、装配过紧。

1）检查转向轮轮胎气压，过低须充气。

2）起动发动机后，转动转向盘，感觉是否比不起动发动机时明显变轻，如感觉不是明显变轻，先检查转向助力系统。如图 1-1 所示，在不拆下安全气囊、发动机怠速运转的情况下，用弹簧秤沿转向盘边缘拉动转向盘，一般应小于 39N。或者在拆下安全气囊的情况下发动机怠速运转时，用扭力扳手转动转向盘的力矩应符合原厂规定，一般应小于 10N·m，如图 1-2 所示。

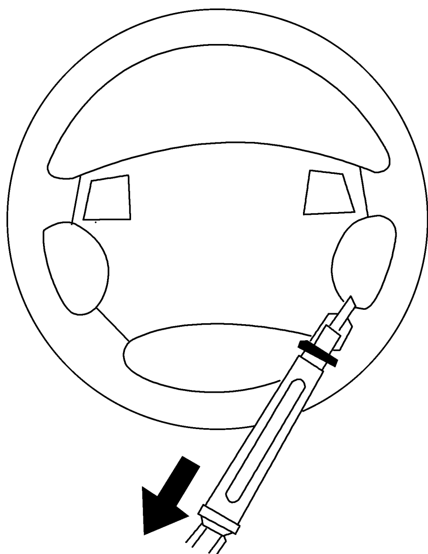


图 1-1 用弹簧秤检查转向盘转向力

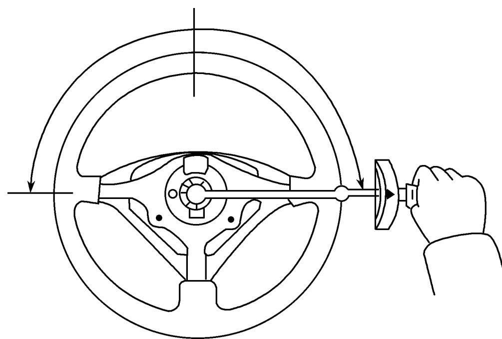


图 1-2 用扭力扳手检查转向盘转动力矩

3）对电控转向系统，应首先进行故障自诊断，可读取数据流时应进行读取，按故障码或数据流的提示进行检修。

4）进行液压式动力转向系统的故障诊断时，应首先排除机械故障，再对液力系统进行检查。

液压动力转向系统实际上是机械转向器加液压助力器。转向系统故障前面已叙述，因此动力转向系统的故障，就是指常见液压传动部分的泄露、渗进空气、液压泵工作不良、操纵阀失效等引起的转向沉重、跑偏等。

检查的内容有：液压泵传动带的松紧度；工作油液的检查：发动机怠速运转，左右转动转向盘数次，当液压系统工作油温正常时检查储油罐的储油量是否在规定的范围之内，液压油是否起泡、发白，有无空气混入；检查油管和管接头是否有松动、破损及油泥现象；液压泵输出油压检查：发动机怠速运转，在阀门全开时测量输出油压，并把检测结果与标准值比较，若所测油压偏低，说明液压泵存在故障，应进行修理；转向器的油压检查：发动机怠速运转，在阀门全开时，左右转动转向盘时测量油压，并与规定值比较，测得油压偏低时，说明转向器内有漏油现象。

如果左右转向轻重不同，则一般是转向控制阀（分配阀）不良，对转阀式转向控制阀来说通常是控制阀的密封环（如图 1-3 所示）损坏、泄漏；对滑阀式转向控制阀来说可能为滑阀偏离中间位置，或虽在中间位置但与阀体台肩的缝隙大小不一致或滑阀内有脏物阻滞，使

左右移动时阻力不一样。

如果快转向时转向盘感到沉重，则主要原因可能是转向助力液压泵传动带打滑，流量控制阀弹簧过软，安全阀、流量控制阀泄漏严重，液压泵磨损过甚等。

5）检查转向器齿条和小齿轮啮合间隙是否过小；转向轴的轴承是否过紧或损坏；转向拉杆的球头销与球头座配合是否过紧；转向轴万向节十字轴配合是否过紧。对采用非独立悬架的货车，检查转向节主销与转向节衬套配合是否过紧或缺油，或转向节推力轴承是否缺油或卡滞。

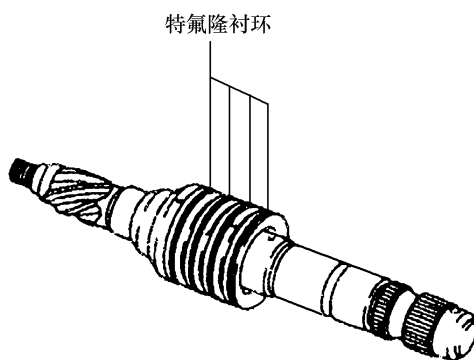


图 1-3　转向器控制阀密封环

6）检查车身是否变形、前轮定位数据是否满足要求等。

一般来说，转向特别沉重通常是转向系统自身故障造成的，而转向略感沉重的故障则转向系统、行驶系统及前轮定位故障均有可能。

二、转向不稳故障的诊断与分析

1. 故障现象

汽车转向时感觉转向盘松旷量很大，需用较大的幅度转动转向盘，方能控制汽车的行驶方向；或者车辆不能长期保持直线行驶，车辆有时而漂向左侧、时而漂向右侧的趋势；方向不好控制，有时转向反应过于灵敏，轻微转动转向盘，车辆却向一侧漂移过多，有时又转向反应迟缓。

2. 故障主要原因及处理方法

转向盘自由行程过大的根本原因是转向系传动链中一处或多处的配合因装配不当、磨损等原因造成松旷。具体原因主要有：

1）转向器主、从动部位啮合间隙过大或主、从动部位轴承松旷，应予调整或更换。

2）转向盘与转向轴连接部位松旷，应予调整。

3）转向垂臂与转向垂臂轴连接松旷，应予调整或更换。

4）纵、横拉杆球头连接部位松旷，应予调整或更换。

5）纵、横拉杆臂与转向节连接松旷，应予调整或更换。

6）转向节主销与衬套磨损后松旷或悬架上、下摆臂球头松旷，应予更换。

7）车轮轮毂轴承间隙过大，应予调整或更换。

8）滑阀式转向控制阀不良。滑阀式转向控制阀回位弹簧损坏或太软，难以克服转向器逆传动阻力，使滑阀不能及时回位。或者因油液脏污使滑阀运动受到阻滞。应进行清洗或修理。

9）车架或车身变形，应予修理校正。

10）前束失准，应予调整。

3. 故障诊断的一般步骤

1）检查转向盘自由行程是否过大。造成转向盘自由行程过大的根本原因是转向系传动

链中一处或多处连接的配合间隙过大，诊断时，可从转向盘开始检查转向系统各部件的连接情况，看是否有磨损、松动、调整不当等情况，找出故障部位。可一人转动转向盘，另一人在车下查看转向传动机构，如转向盘转了许多而转向臂或转向器齿条（对齿轮齿条式转向器而言）并不动作，则故障在转向器；如转向摇臂或齿条动了许多而转向轮并不偏转，则故障在传动机构。

2）如果故障在转向器，应检查传动副啮合间隙，必要时进行调整。

3）如果故障在传动机构，应检查、更换传动机构各球头。

4）经检查上述情况良好，则应检查转向节主销与衬套和悬架上、下摆臂球头是否松旷，如松旷应更换相关配件或进行修理。

5）检查前轮轮毂轴承是否松旷，必要时进行调整或更换。

6）检查车架或车身是否变形。

7）检查车轮定位，调整前轮前束。

8）对采用滑阀式转向控制阀的动力转向器还应检查滑阀式转向控制阀。

三、转向轮摆振故障的诊断与分析

1. 故障现象

前轮摆振的故障现象是，汽车在某一速度范围内行驶时转向轮围绕主销发生角振动，引起车辆摇摆蛇行、转向盘振抖、车身摇晃抖动，使行驶稳定性和操纵性变差。如故障发生在高速时，有可能出现转向轮严重摆振，握转向盘的手有麻木感，甚至在驾驶室可看到汽车车头晃动。

2. 故障主要原因及处理方法

1）转向器垂臂与其轴配合松旷或纵、横拉杆球头连接松旷，应予调整或更换。

2）转向器在车架上的连接松动，应予紧固。

3）独立悬架汽车摆臂衬套或球头销间隙过大。

4）转向轮所在车轴的悬架减振器失效或左右两边减振器效能不一，应予更换。

5）转向轮所在车轴的钢板弹簧 U 形螺栓松动或钢板销与衬套配合松旷，应予紧固或调整。

6）转向轮所在车轴的左右两悬架的高度或刚度不一，应予更换等。

7）车轮动不平衡，应进行动平衡校正。

8）转向轮轮毂轴承磨损、松旷。

9）前轮驱动汽车传动轴平衡不好或球笼式万向节松旷，应予以更换。

10）转向轮定位不准，应进行四轮定位。

3. 故障诊断

转向轮摆振的根本原因是转向轮定位不准、转向系统连接部件之间出现松旷、悬架导向机构连接松旷、旋转部件动不平衡。

若汽车在低速情况下发生摆振，主要原因是转向系统各部位配合间隙过大及转向轮定位失准。

汽车高速行驶时发生转向轮摆振，一般为车轮不平衡。

如果车轮的质量分布不均匀，旋转起来是不平衡的。车轮不平衡对转向轮摆振的影响比路面不平的影响要大得多。车轮本身不平衡是汽车产生摆振的一个重要原因。

随着道路质量的提高和高速公路的普及，汽车行驶速度越来越高，因此对汽车车轮平衡度的要求也越来越高。车轮高速旋转时，不平衡质量会引起车轮上下跳动和横向摆振，不仅影响汽车的行驶平顺性、乘坐舒适性和操纵稳定性，而且也会影响行车安全。车轮的上下跳动和横向摆振还会加剧轮胎的磨损，缩短汽车使用寿命，增加汽车运输成本。

车轮不平衡的原因主要是：轮辋、轮胎在生产和修理过程中的精度误差、轮胎材料不均匀；轮胎装配不正确，轮胎螺栓质量不一；平衡块脱落；汽车行驶过程中的偏磨损；使用翻新胎或补胎等。

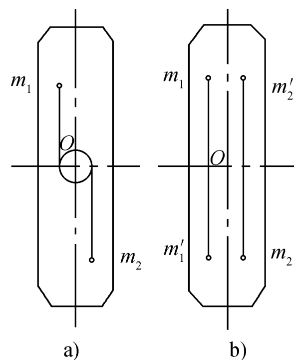


图 1-4　车轮静平衡与动平衡

在图 1-4a 中，车轮是静平衡的，在该车轮旋转轴线的径向反位置上，各有一作用半径相同质量也相同的不平衡点 m_1 与 m_2，且不处于同一平面内。对于这样的车轮，其不平衡点的离心力合力为零，但离心力的合力矩不为零，转动中产生方向反复变动的力偶，使车轮处于动不平衡中。动不平衡的前轮绕主销摆动。如果在 m_1 与 m_2 同一作用半径的相反方向上配置相同质量 m'_1、与 m'_2，则车轮处于动平衡中，如图 1-4b 所示。动平衡的车轮一定是静平衡的，因此对车轮主要应进行动平衡检测。

引起车轮不平衡的原因还有：轮毂、制动鼓（盘）加工时定心定位不准、加工误差大、非加工面铸造误差大、热处理变形、使用中变形或磨损不均。轮胎螺栓质量不等、轮胎质量分布不均或径向圆跳动、端面圆跳动太大。轮胎质量分布不均、尺寸或形状误差太大、使用中变形或磨损不均、使用翻新胎或修补胎。

当出现转向轮摆振故障时，应首先检查转向系统各部件的配合间隙，及时排除故障，在此基础上，对转向轮定位进行检测和调整；对转向轮进行动平衡检测和校正。

四、行驶跑偏故障的诊断与分析

1. 故障现象

车辆行驶时自动地向左或向右偏驶，不能维持直线行驶，严重时必须紧握转向盘，若稍放松转向盘，车辆就自动向一侧跑偏。严格来说它包括总是偏向一侧的恒定跑偏和在一定条件下的行驶跑偏（如跳动转向、记忆转向、力矩转向），我们通常所说的行驶跑偏是指恒定的行驶跑偏。

2. 故障主要原因及处理方法

造成汽车行驶跑偏的根本原因是汽车车轮的相对位置不正确，两侧车轮受到的阻力不一致。具体原因主要是：

1）两前轮轮胎气压不等、直径不一或汽车装载质量左、右分布不均匀，应予调整或更换。

2）前左、前右减振器弹簧刚度不一致，应予更换。

3）车身变形或车架变形使两侧轴距不等，应予校正、调整。

4）转向轮某一侧的前稳定杆、下摆臂变形等，应予更换。

5）两前轮轮毂轴承的松紧度不一，应予调整。

6）四轮定位不正确，应予调整或更换部件。

7）车轮有单边制动或拖滞现象，应予检修。

8）转向杆系变形，应予校正或更换。

9）动力转向系控制阀损坏或密封环弹性减弱，阀芯运动不畅或偏离中间位置，应予调整或更换。

10）更换了转向系统 ECU 或转向盘转角传感器后未进行转向盘零点校正，应按维修手册所述进行转向盘零点校正。

11）前轮驱动汽车新换的左、右半轴直径或重量不符合原厂规定，应更换合格配件。

12）麦弗逊式悬架的减振器上轴承卡滞或损坏、减振器上轴承橡胶座磨损变形开裂等，应更换减振器上轴承橡胶座总成。

13）转向器固定螺栓松动、一侧的转向横拉杆弯曲等导致转向横拉杆与下摆臂的空间几何位置关系发生变动，应更换相关部件及维修。

14）球关节或主销及其推力轴承润滑不良、卡滞，转向器或齿条调节过紧导致转向后转向盘不能返回至中心位置，即发生记忆转向。应润滑、调整或更换相关部件。

3. 故障诊断的一般步骤

1）检查左右转向轮气压是否符合标准或一致，不符合标准或不一致时应充气至标准值。

2）将两前轮左右对调，再进行试车，如果跑偏方向改变，应更换轮胎。

3）检查减振器弹簧刚度及左右弹簧的变形量是否一致。

4）检查前稳定杆和前摆臂是否变形。

5）行车后检查左右轮毂和制动鼓的温度，若温度不一致时，则说明高温一侧的制动器存在单边制动、制动拖滞或轮毂轴承装配过紧、损坏等。

6）检查麦弗逊式悬架的减振器上轴承是否卡滞或损坏、减振器上轴承橡胶座是否磨损变形开裂等，应更换减振器上轴承橡胶座总成。

7）检查左右侧轴距和四轮定位参数是否符合标准值。

四轮定位参数不正确引起行驶跑偏主要是以下几点：

① 左右两轮外倾角不等：向外倾角较大的一边跑偏。

② 左右前轮主销后倾角不等：向后倾角较小的一边跑偏。

③ 左右前轮主销内倾角不等：向内倾角较小的一边跑偏。

④ 后轮前束失准等导致推进线不正，它将导致类似后轮转向的行驶跑偏。

8）检查动力转向系统控制阀是否损坏或密封环弹性减弱，阀芯是否运动不畅或偏离中间位置，应予调整或更换。

为检查这种情况，可顶起车辆，使车轮离地，起动发动机。若车轮向一侧偏转，则可判断是控制阀或转向器的故障。

9）如新更换了转向系统 ECU 或转向盘转角传感器，应按维修手册所述进行转向盘零点校正。如东风雪铁龙凯旋轿车转向盘角度传感器的初始化操作如下：

其转向盘角度传感器的校准功能由诊断工具分两阶段实施：校准准备、校准。

在调节车轮前束，ESP 电控单元、转向盘下转换模块的更换以及维修转向柱或转向柱

支架时，必须校准角度。

① 校准准备。启动校准程序前，必须保证车轮处于摆正位置。

可以采用两种方法保证车轮处于摆正位置：

a. 沿直线行驶。行驶应该在 100m 左右水平的公路上进行，无斜面来的强风。行驶途中，应该尽可能小心地保证转向盘的位置，以便稳定汽车的行驶 。

b. 在前束试验台上对齐。

② 校准。须借助于诊断工具启动校准程序。驾驶车辆行驶 1 或 2km，来核验转向盘归零是否完成（断开诊断仪），此时故障指示灯不应该点亮。

注意：在核验行驶期间，调节 ESP，ABS 或 REF（电子制动力分配）无效。

10）如果前轮驱动汽车新换了左、右半轴后出现跑偏，而车轮定位未发现异常，就应进行路试，如加速时跑偏严重而空挡滑行时不跑偏，说明存在力矩转向现象，应为新换的左、右半轴直径或重量不符合原厂规定，需更换合格配件。力矩转向可以定义为汽车中、高速行驶中急剧加速时，汽车有向一侧跑偏的趋势。

11）如每次转向后即出现行驶跑偏的现象，说明车辆可能存在记忆转向。完成转向任务并回正后车辆仍有向刚才转向的一侧行驶跑偏的趋势，这种故障现象称为记忆转向。此时应检查球关节或主销及其推力轴承是否存在润滑不良、卡滞的现象，转向器或齿条调节是否过紧，导致转向后转向盘不能返回至中心位置，即发生记忆转向。为了判定问题发生在转向系统还是悬架系统，需从转向节上分离横拉杆，然后用手转动转向节以寻找卡滞部件。

12）如果试车时发现前轮中的一只或两只在遇到路面凸起时有突然转向的趋势。这主要是由于车辆驶上隆起物或从隆起物上驶下时，一个车轮或两个车轮的前束发生明显的变化，导致车辆行驶方向剧烈变动，有的车可能只是扭动一下，有的车甚至窜入另一车道。一般将这种行驶跑偏称之为颠簸转向（跳动转向），应检查转向器固定螺栓是否松动、一侧的转向横拉杆是否弯曲等导致转向横拉杆与下摆臂的空间几何位置关系发生变动，需更换相关部件并重新进行四轮定位。

五、转向盘回正不良故障的诊断与分析

1. 故障现象

汽车在完成转向后，转向盘不能回到中间行驶位置（直线行驶位置）。

2. 主要故障原因

1）转向助力液压系统不良。转向助力液压系统内有空气、压力限制阀工作不良、控制阀定中不良、弹簧失效或滑阀卡滞等。

2）双横臂式独立悬架上下臂胶套松旷、球头间隙过大或麦弗逊式悬架的减振器上轴承橡胶座磨损变形开裂严重等。

3）四轮定位失准，主要是主销内倾角过小、主销后倾角过小等。

4）球关节或主销及其推力轴承润滑不良、卡滞，转向器或齿条调节过紧等导致车辆产生记忆转向。

3. 故障诊断与排除

1）检查是否同时存在转向沉重的故障，如有则按转向沉重检查。主要是转向助力液压系统内有空气、压力限制阀工作不良、控制阀定中不良、弹簧失效或滑阀卡滞等。

2）检查悬架导向杆件是否存在变形、松旷等现象。

3）检查转向器传动副啮合间隙是否过小，转向传动机构是否存在卡滞现象。

4）进行四轮定位，保证车轮定位参数正确。

六、单边转向不足故障的诊断与分析

1. 故障现象

汽车转弯时，有时会出现转向盘左右转动量或车轮转角不均。

2. 故障主要原因及处理方法

1）转向摇臂在转向摇臂轴上装配位置不合适。齿轮齿条式转向器左右横拉杆长度相差较大。

2）有一边前轮转向角限位螺钉过长。

3）直拉杆弯曲变形。

4）前钢板弹簧U形螺栓松动或中心螺栓折断。

5）中心不对称的前钢板弹簧前后装反。

6）对装有可变传动比转向系统的车辆，其可变转向传动比系统不良。

3. 故障诊断的一般步骤

1）若汽车转向原来良好，由于行驶中的碰撞而造成转向半径一边大一边小时，应检查直拉杆、前轴、前钢板弹簧有无变形和中心螺栓折断现象。

2）若在维修后出现单边转向不足，可架起前桥，先检查转向摇臂是否装配正确。可将转向盘向一边转到尽头，再回到另一尽头，记住转向盘转动的总圈数，然后检查转向摇臂的位置，即在总转动圈数之半时，前轮是否在居中的位置。倘若位置不对，应拆下转向摇臂另行安装。若摇臂位置始终不能使前轮对中，则应检查直拉杆有无弯曲变形。对装用齿轮齿条式转向器的车辆应检查左右横拉杆长度是否相差过大。

3）若转向角不等仅是受到转向限位螺钉长度不同的影响，则应调整限位螺钉。

4）对于装用中心不对称的前钢板弹簧的货车来说，则应检查前钢板弹簧是否有装反现象。

5）对装有可变传动比转向系统的车辆应检查可变转向传动比系统。

七、转向时有异响故障的诊断与分析

1. 故障现象

汽车在转向时出现异常响声。

2. 故障原因

1）动力转向系统引发的噪声。

① 动力转向油罐中油面过低，液压泵在工作时容易吸进空气；或液压泵传动带过松。

② 油路中存有空气。

③ 滤清器滤网堵塞，或因其破裂造成油管堵塞。更换滤清器。

④ 各管路接头松动或油管破裂。更换油管。

⑤ 液压泵损坏或磨损严重。更换动力转向装置。

2）转向传动机构及转向器等引发的异响。

① 转向传动轴万向节松旷。

② 转向传动机构各球头松旷或损坏。

③ 转向器啮合传动副磨损过甚、调整不当或轴承松旷。

④ 转向柱固定不良或与之相固连的钣金件点焊不良。

3）前悬架球头或上支承轴承等不良。

4）前轮驱动车辆的驱动半轴外球笼损坏。

3. 故障诊断的一般步骤

1）检查发生噪声或异响的部位，如果转向助力泵发出“嘶嘶”声或尖叫声时，应进行以下检查：

首先应检查储油罐液面高度，液面高度不够时应查明泄漏部位并修理，然后按规定加足动力转向液；其次检查转向助力泵驱动带是否打滑，若打滑应查明原因更换传动带或调整传动带张紧度；再察看动力转向液中有无泡沫，若有泡沫，应查找漏气部位并予以修理，然后排除空气，若无漏气，则说明油路有堵塞处或助力泵严重磨损及损坏，应予以修复或更换。

2）如果转向时转向器内引发的异响，应检查转向器啮合传动副是否磨损过甚、调整不当或轴承松旷等。

3）如果异响发生在转向柱附近，则应检查转向传动轴万向节是否松旷、转向柱固定不良或与之相固连的钣金件点焊不良。当怀疑转向传动机构各球头产生异响时，可用四柱举升器将车辆举起，一人于车上转动转向盘，一人在车下用听诊器在球头处听诊。

4）检查前悬架摆臂球头是否损坏、上支承轴承座橡胶是否老化开裂、轴承是否损坏。

5）如果车辆行驶中转向时前轮处发出“哒、哒”异响，而当车辆静止时不发生异响，则应检查前轮驱动车辆的驱动半轴外球笼是否损坏。

八、轮胎异常磨损故障的诊断与分析

1. 故障现象

轮胎磨损速度加快，胎面出现如图 1-5 所示的不正常磨损形状。

2. 故障主要原因及处理方法

造成轮胎异常磨损的原因主要是：

1）轮胎气压不符合要求，轮胎质量不佳或车轮螺栓松动，应按规定充气，更换轮胎或紧固车轮螺栓。

2）轮胎长期未换位或汽车经常行驶在拱度较大的路面上，应及时进行轮胎换位（一般换位的同时应进行动平衡校正）。

3）车轮定位不正确或车轮旋转质量不平衡，应进行四轮定位和车轮平衡。

4）纵横拉杆、轮毂轴承松旷或转向节与主销松旷，应予修理或更换。

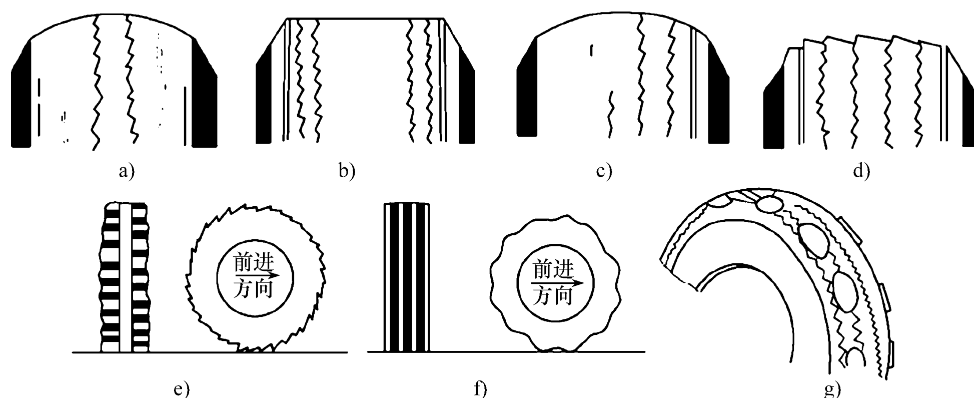


图 1-5 轮胎的不正常磨损

a）胎冠两侧磨损 b）正中磨损 c）外侧磨损 d）羽片状磨损

e）锯齿状磨损 f）波浪状磨损 g）胎肩碟片状磨损

5）钢板弹簧 U 形螺栓松动或钢板弹簧衬套与销松旷，应予紧固或更换。

6）经常超载、偏载、起步过急、高速转弯或制动过猛，应注意正确的驾驶方法。

7）转向梯形不能保证各车轮纯滚动，出现过度转向，应予调整。

3. 故障诊断方法

诊断故障时，应根据轮胎磨损的情况确定故障原因：

胎冠两肩磨损与胎壁擦伤，是由于轮胎气压不足或汽车长期超载引起，如图 1-5 中 a 所示。

胎冠中部磨损，是由于轮胎气压过高引起，如图 1-5 中 b 所示。

胎冠内（外）侧偏磨损，是由于车轮外倾角过大（小）引起，如图 1-5 中 c 所示。

胎冠由外（里）侧向里（外）成锯齿状或羽毛状磨损，是由于前束过大（小）引起，如图 1-5 中 d 所示。

胎冠两侧成锯齿状磨损，是由于轮胎换位不及时或汽车经常紧急制动或长期超载引起，如图 1-5 中 e 所示。

胎冠呈波浪状或碟片状磨损，是由于轮毂轴承松旷或车轮静不平衡引起，如图 1-5 中 f、g 所示。

九、故障诊断的相关要点

（一）动力转向系统的结构与工作原理

1. 传统的液压动力转向系统

传统的液压动力转向系统主要包括转向控制阀、机械转向器、动力缸、转向助力泵等。多数汽车将转向控制阀、机械转向器、动力缸装配在一起，称之为整体式动力转向器，且转向控制阀一般为转阀式，轿车上一般采用转阀式齿轮齿条整体动力转向器，如图 1-6 所示。

阀体绕其圆心转动来控制油液流量的转向控制阀称为回转式转向控制阀，主要由控制阀轴（控制阀阀芯）2、转阀（控制阀阀套）15 及弹性扭杆 1 等组成，如图 1-7 所示。阀套 15

制成圆筒形，外表面切有 3 条较宽深的、4 条较浅窄的环形槽。宽深的槽是油槽，其底部有与内壁相通的孔。窄浅的槽用于安装特氟隆密封环。阀套 15 的内表面制有 8 条不贯通的纵向槽，形成 8 条槽肩。阀套 15 下端的一侧有一缺口，此处通过固定销 7 将阀套 15 与转向小齿轮 10 锁止在一起，使其只能与转向小齿轮 10 同步转动而不能产生相对角位移。

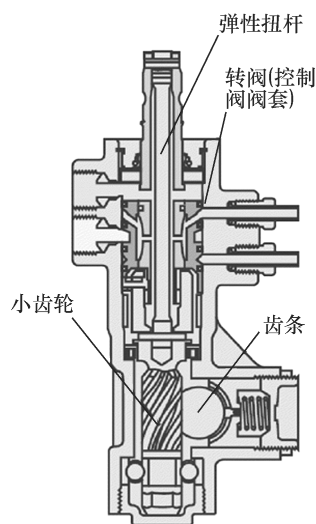


图 1-6　转阀式齿轮齿条整体动力转向器

控制阀轴（控制阀阀芯）2 呈圆筒形，其上部通过固定销 18 与弹性扭杆 1 的上端固定在一起，上部外表面制有细齿花键，与转向盘侧的转向轴连接。控制阀轴下部的外表面与阀套滑动配合，二者可以相对转动。阀芯与阀套配合间隙很小，配合精度很高，组成偶件，不可单独更换。阀芯外表面也切成与阀套相对应的 8 条不贯通的纵向槽，并形成 8 条台肩，相间的 4 条台肩开有径向贯通油孔。阀芯上端通过固定销 18 与扭杆 1 相连、通过花键与转向轴相连，因而转向轴可通过扭杆带动转向齿轮转动。控制阀轴（控制阀阀芯）2 下端两侧加工出平面扁头结构，如图 1-7 中 $E-E$ 所示，转向小齿轮上端也相对地开有类似的槽结构，正常情况下，扁头与槽两者不接触，只有当扭杆扭转变形太大时（通常是液压助力系统失效时）才接触，此时控制阀轴（控制阀阀芯）通过这一结构直接驱动转向小齿轮，以保证汽车转向，并防止扭杆过载。

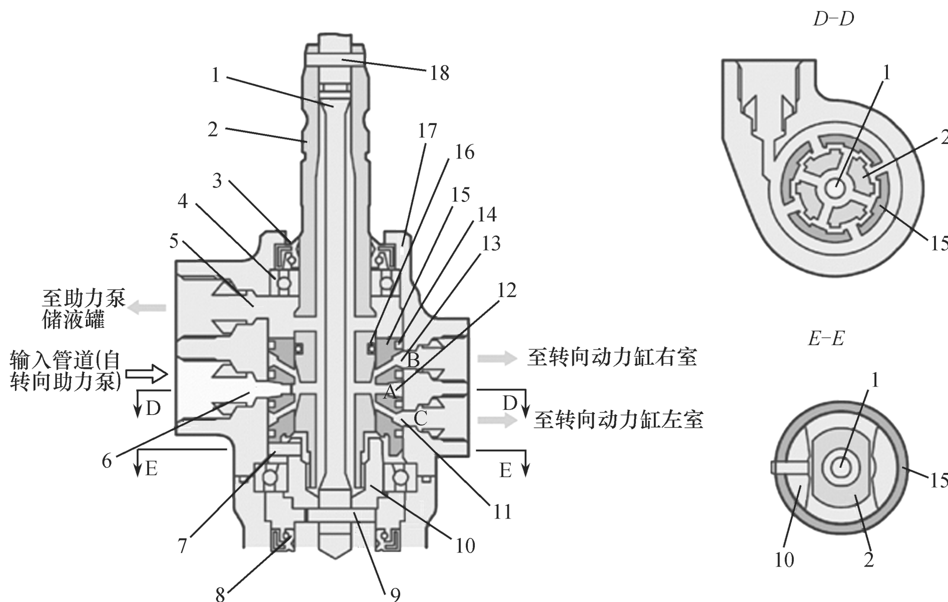


图 1-7　回转式转向控制阀

1—弹性扭杆　2—控制阀轴（控制阀阀芯）　3—油封　4—轴承　5—回油口　6—进油口　7—固定销　8—油封　9—固定销　10—小齿轮　11—环形油道 C　12—环形油道 A　13—环形油道 B　14—特氟隆密封环　15—转阀（控制阀阀套）　16—密封圈　17—控制阀外壳　18—固定销

弹性扭杆安装在控制阀轴（控制阀阀芯）的孔中，转向时由于转向阻力矩可使扭杆产生弹性变形。扭杆产生弹性变形即使得控制阀轴与转向小齿轮及转阀阀套产生一个很小的角位移。

该转阀具有四个互相连通的进油孔 A，环形通道 B、C 分别与动力缸的左、右腔连通。

回转阀式动力转向器工作原理具体分析如下：

（1）汽车直线行驶时　阀体与转阀阀杆之间在圆周方向的位置不发生相互错动，转阀处于图 1-8 的中间位置。由转向助力液压泵输向控制阀的油液经控制阀外壳上的进油口进入阀套的环形油道 A，然后经其环槽底部的通孔 E 进入阀套与阀芯之间。因转阀处于中间位置，阀套与转阀阀芯上的轴向沟槽槽肩形成的两侧间隙相同，因此进入控制阀的油液分别经阀套与阀芯纵槽槽肩形成的两边相同间隙、阀套上的径向油孔 F、G、阀套外圆的上环形油道 B、下环形油道 C，阀芯上径向孔 H、阀芯与扭杆之间的空隙、控制阀回油室 D、回油管返回储油箱。此时动力缸左右室相通，转向动力缸不起助力作用。

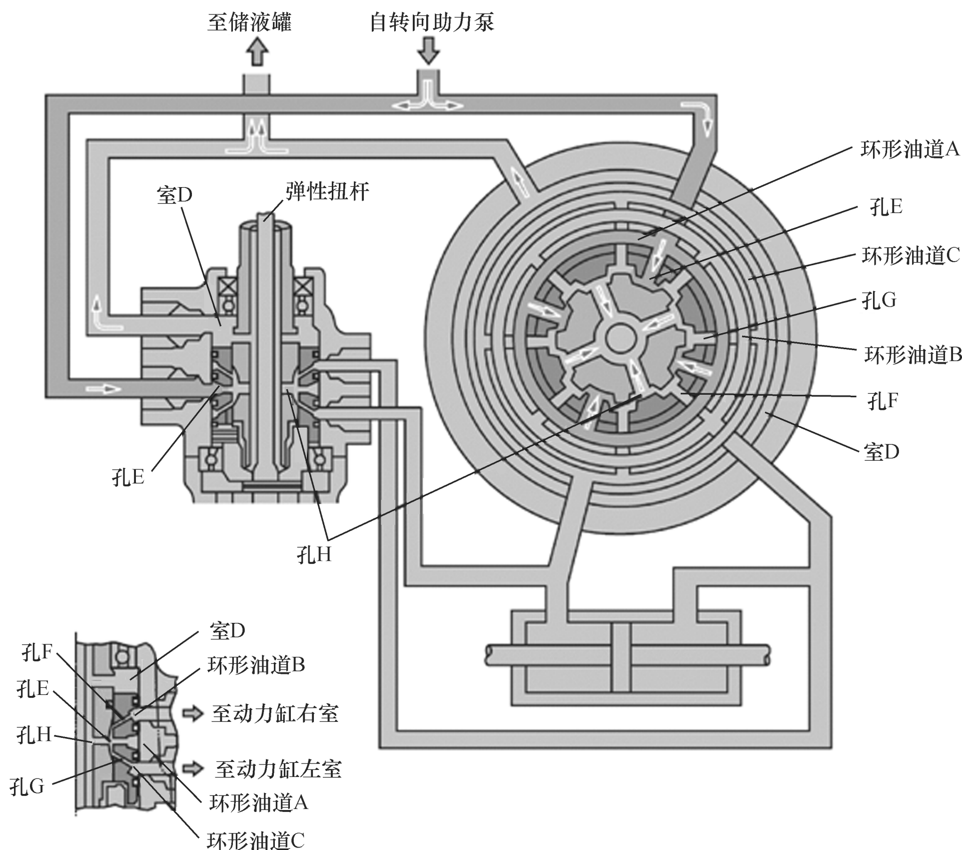


图 1-8　回转阀式动力转向器工作原理（直行时）

（2）汽车向右转向时　转向轴连同阀芯被顺时针转动，由于受到路面传来的转向阻力，动力缸活塞和转向齿条暂时不能运动，所以转向齿轮暂时不能随转向轴转动。这样，由转向轴传到转向齿轮的转矩只能使弹性扭杆产生少许变形，使转向轴（即阀芯）得以相对转向齿轮（即阀套）转过少许角度，两者产生相对角位移，如图 1-9 所示。通动力缸左室的环形油道 C 底部的孔 G 与进油孔 E 一侧的节流槽隙封闭，与阀芯上的回油孔 H 一侧的节流槽隙开

大，动力缸左室油压降低；通动力缸右室的环形油道 B 底部的孔 F 与进油孔 E 一侧的节流槽隙增大，与阀芯上的回油孔 H 一侧的节流槽隙封闭，动力缸右室油压升高。即转阀使动力缸右腔室成为高压油腔，左腔室则成为低压油腔，这样作用在动力缸活塞上的向左的液压作用力，帮助转向齿轮迫使转向齿条向左移动，转向车轮开始向右偏转。同时，转向齿轮本身也开始与转向轴同向转动。只要转向盘继续转动，弹性扭杆的扭转变形便一直保持不变，转向控制阀所处的右转向位置也不变。一旦转向盘停止转动，动力缸暂时还继续工作，导致转向齿轮继续转动，使弹性扭杆的扭转变形减小，直到弹性扭杆恢复自由状态，转阀回到中立位置，动力缸停止助力。此时，转向盘即停在某一位置上不动，则车轮转角也保持一定。若转向盘继续转动，动力缸又继续工作。

这种转向动力缸随转向盘的转动而工作，又随转向盘停止而停止助力的作用，称为转向助力装置的随动作用。

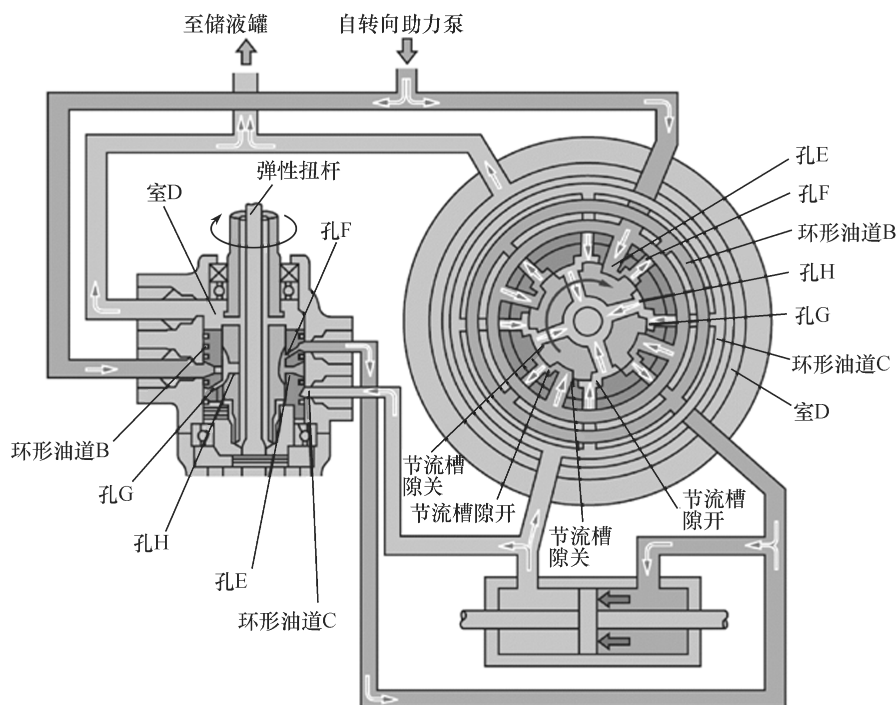


图 1-9 回转阀式动力转向器工作原理（右转向时）

（3）汽车向左转向时 转向轴连同阀芯被逆时针转动，同样由于受到路面传来的转向阻力，由转向轴传到转向齿轮的转矩只能使弹性扭杆产生少许变形，使转向轴（即阀芯）得以相对转向齿轮（即阀套）转过少许角度，两者产生相对角位移，如图 1-10 所示。通动力缸右室的环形油道 B 底部的孔 F 与进油孔 E 一侧的节流槽隙封闭，与阀芯上的回油孔 H 一侧的节流槽隙开大，动力缸右室油压降低；通动力缸左室的环形油道 C 底部的孔 G 与进油孔 E 一侧的节流槽隙增大，与阀芯上的回油孔 H 一侧的节流槽隙封闭，动力缸左室油压升高。动力缸活塞产生向右的液压作用力，帮助转向齿轮迫使转向齿条向右移动，转向车轮开始向左偏转。

（4）在转动过程中 若转向盘转动的速度快，则阀体与阀芯的相对角位移量也大，左、

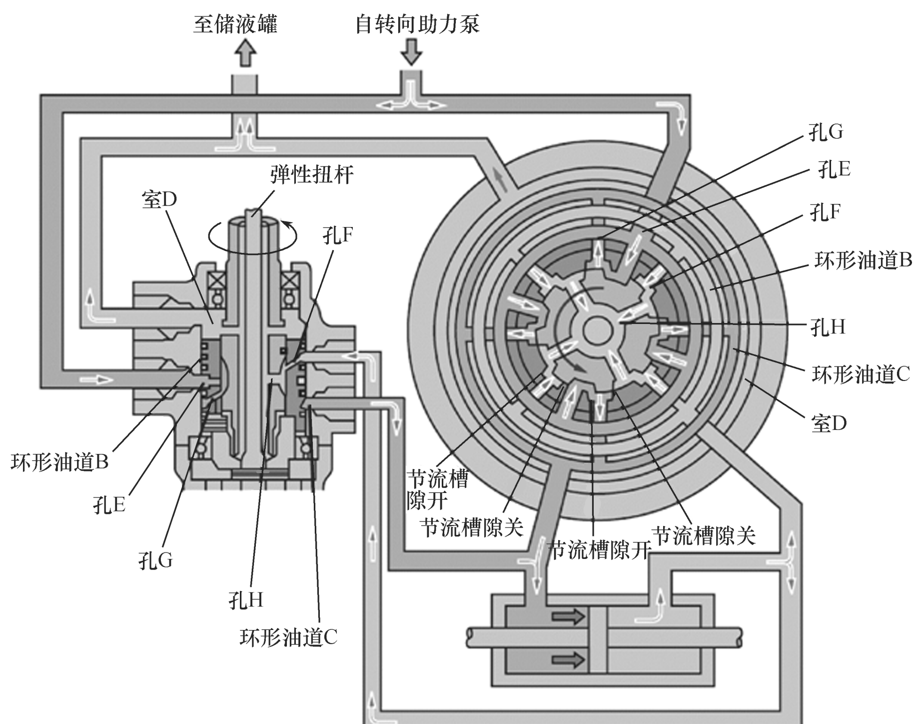


图 1-10 回转阀式动力转向器工作原理（左转向时）

右动力腔的油压差也相应增大，车轮偏转速度加快；若转向盘的转动速度慢，则车轮偏转的速度也慢；若转向盘转到某一位置不动，对应着车轮也转到某一相应位置上不动。这就是转向控制阀的所谓“渐进随动原理”。

转向后需要回正时，只要驾驶员放松转向盘，阀芯回到中间位置，失去了助力作用，此时车轮在回正力矩的作用下自动回位，若驾驶员同时回转转向盘，转向助力器起作用，帮助车轮回正。

当汽车直线行驶偶然遇到外界阻力使车轮发生偏转时，阻力矩通过转向传动机构、转向齿轮作用在阀体上，使之与阀芯产生相对角位移，这时动力缸左、右油腔形成压差，产生与车轮转向相反的助力作用，在此力的作用下，车轮迅速回正，保证了汽车行驶的方向稳定性。

如果液压助力装置失效，该动力转向器即变成机械转向器。此时转动转向盘，直接带动转向齿轮，以保证汽车转向。不过这时由于无转向助力作用，转向特别沉重。

2. 电控液压动力转向系统

电控液压动力转向系统是在传统的液压动力转向系统的基础上增设了控制液体流量的电磁阀、车速传感器和电子控制单元等，电子控制单元根据检测到的车速信号，控制电磁阀，使转向动力放大倍率实现连续可调，从而满足高、低速时的转向助力要求。

（1）反力控制式 EPS 液压式电子控制动力转向系统，是在传统的液压动力转向系统的基础上，增设电子控制装置而构成的。根据控制方式的不同，液压式电子控制动力转向系统又可分为流量控制式、反力控制式和阀灵敏度控制式三种形式。现主要介绍反力控制式 EPS。

反力控制式动力转向系统是一种根据车速大小，控制反力室油压，从而改变输入、输出增益幅度以控制转向力。其优点表现在，具有较大的选择转向力的自由度，转向刚度大，驾驶员能感受到路面情况，可以获得稳定的操作手感等。其缺点是结构复杂，且价格较高。

系统组成与工作原理如下：

图 1-11 所示为丰田车上曾使用过的反力控制式动力转向系统的工作原理图，该系统主要由转向控制阀、分流阀、电磁阀、转向动力缸、转向液压泵、储液罐、车速传感器及电子控制单元等组成。转向控制阀在传统的整体转阀式动力转向控制阀的基础上增设了液压反力室（图 1-12）。弹性扭杆的上端通过销子与转阀阀杆（控制阀轴）相连，下端与小齿轮轴用销子连接。小齿轮轴的上端通过销子与控制阀阀套相连。转向时，转向盘上的转向力通过弹性扭杆传递给小齿轮轴。当转向力增大，弹性扭杆发生扭转变形时，控制阀体和转阀阀杆之间将发生相对转动，于是就改变了阀体和阀杆之间油道的通、断和工作油液的流动方向，从而实现转向助力作用。

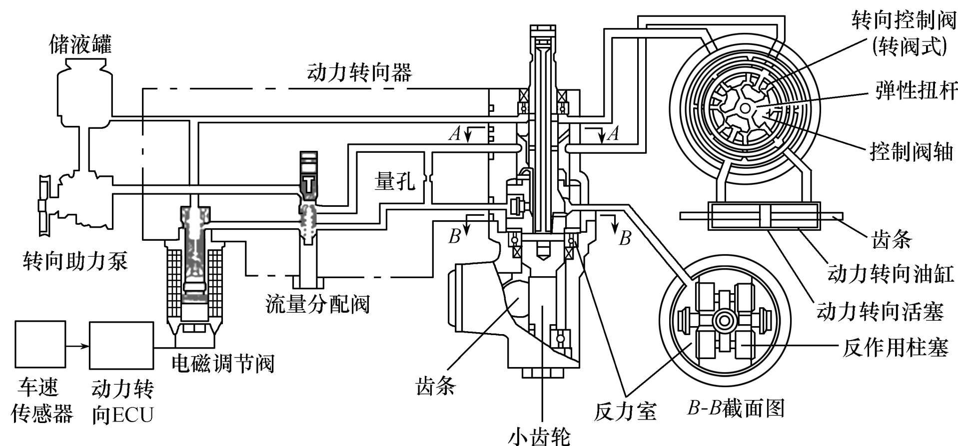


图 1-11　反力控制式动力转向系统

分流阀把来自转向液压泵的液压油向控制阀一侧和电磁阀一侧进行分流。按照车速和转向要求，改变控制阀一侧与电磁阀一侧的油压，确保电磁阀一侧具有稳定的液压油流量。固定小孔的作用是把供给转向控制阀的一部分流量分配到油压反力室一侧。

电磁阀根据需要，使油压反力室一侧的液压油流回储液罐。输入到电磁阀中的信号是通、断脉冲信号，改变信号占空比（信号导通时间所占的比例）就可以控制流过电磁阀线圈平均电流值的大小。

电子控制单元（ECU）根据车速的高低线性控制电磁阀的开口面积。当车辆停驶或速度较低时，ECU 使电磁线圈的通电电流增大，电磁阀开口面积增大，经分流阀分流的液压油，通过电磁阀重新回流到储液罐中，所以作用于柱塞的背压（油压反力室压力）降低。于是柱塞推动控制阀转阀阀杆的力（反力）较小，因此只需要较小的转向力就可使弹性扭杆扭转变形，使阀套与控制阀轴（阀芯）产生相对转动而实现转向助力作用。

当车辆在中、高速区域转向时，ECU 使电磁线圈的通电电流减小，电磁阀开口面积减小，所以油压反力室的油压升高，作用于柱塞的背压增大，于是柱塞推动转阀阀杆的力增大。此时需要较大的转向力才能使阀套与阀杆之间做相对转动（相当于增加了扭杆的扭转刚

度），实现转向助力作用。换句话说，也就是由于反作用柱塞对控制阀轴（阀芯或阀杆）下部的凸起产生作用，此时要想控制阀打开相同的油道就必须增大输入轴上的扭转力矩，使转向盘的操纵力增大。所以在中、高速时可使驾驶员获得良好的转向手感和转向特性。

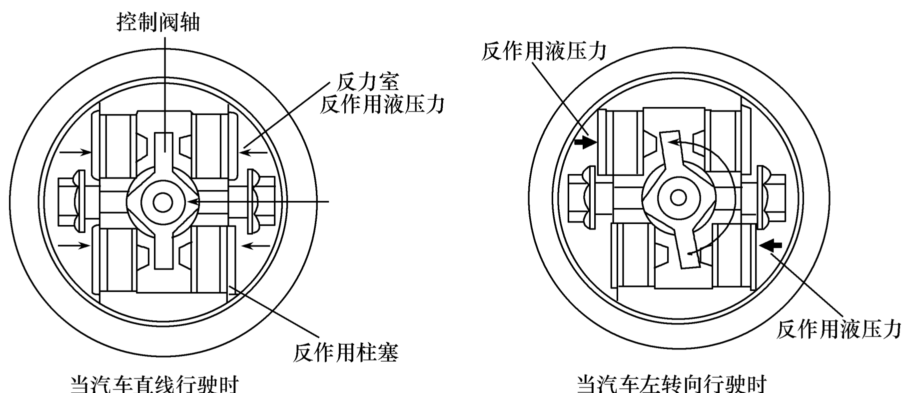


图 1-12 液压反力室

（2）电动液压助力转向系统（G. E. P 或 EPHS） 在传统的液压动力转向系统中，转向助力所需的系统液压由发动机带动的液压泵产生，这样发动机常常会损失部分功率。很多情况下转向时发动机的转速不高，而此时却需要很大转向助力，所以设计时考虑了这个问题，在发动机低速时液压泵的输出流量就可满足要求。这样，当发动机高速运转时，就出现了功率损失现象。现在很多转向助力液压泵上采用了速度敏感型的流量控制阀，如图 1-13 所示。图 1-13c 为低速时流量控制阀的工作情况，图 1-13d 为高速时流量控制阀的工作情况，图 1-13b 为流量随发动机转速变化的关系。

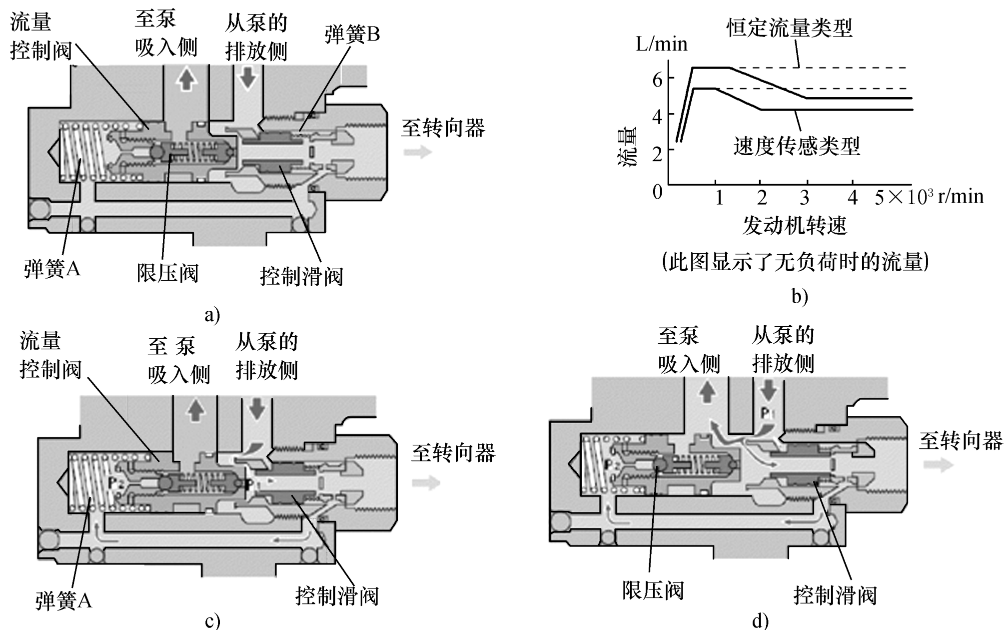


图 1-13 速度敏感型流量控制阀

在大众波罗、东风雪铁龙凯旋等车上装备了电动液压助力转向系统。它通过一个电动机来驱动液压泵，通过电动机不同的输出功率获得不同的转向助力。

在车辆运行过程中，驾驶员并不是在所有条件下，都需要最大助力。考虑到安全性和能量节约，使用这个系统，使转向助力能够根据车辆的需要进行调节。通过电动机不同的输出功率获得不同的转向助力，GEP 系统的运行要考虑下列参数：

1）车速。

2）转向盘的转动方向、转向盘转动的角度及角速度。

3）助力转向液温度。

使用 GEP 的系统不再装配由发动机传动系驱动的机械助力泵。

使用 GEP 系统，每 100km 可以降低燃油消耗 0.1～0.2L 左右。同时可以对转向助力的变化进行更好的管理。

图 1-14 所示为东风雪铁龙凯旋轿车上装用的 G.E.P 组件（电动液压助力泵组件）位置。

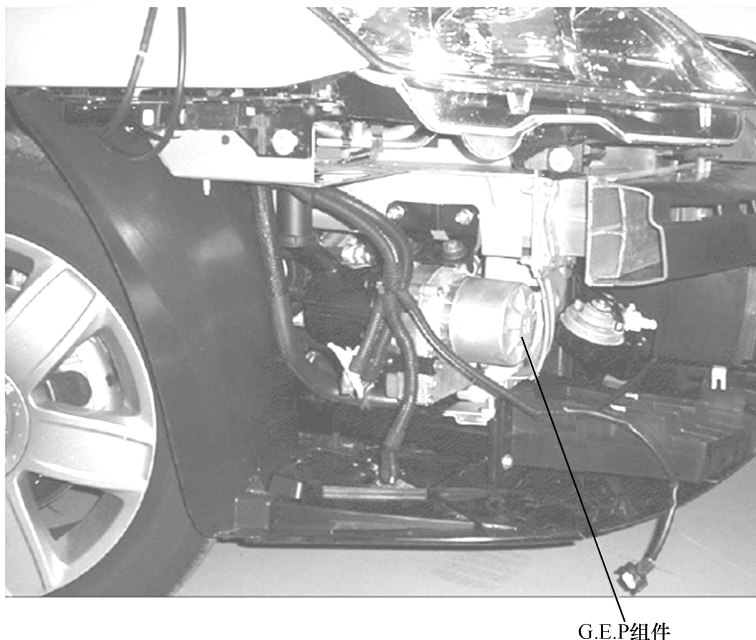


图 1-14　东风雪铁龙凯旋轿车的 G.E.P 组件（电动液压助力泵组件）

大众波罗轿车的 EPHS（Electrically Powered Hydraulic Steering）组成如图 1-15 所示，主要由助力转向控制单元 J500、电动机驱动的齿轮泵、助力转向传感器、动力转向器等组成。

该转向系统仍靠液压来帮助驾驶员转向，转向助力所需的系统液压仍由液压泵产生，但液压泵是通过电动机驱动的，与发动机不存在机械上的连接。动力转向器与传统的液压助力转向系统的转阀式齿轮齿条动力转向器的结构相似，如图 1-16 所示。但助力作用的大小是根据转向角速度以及行驶速度不同而不同的，其原理示意图如图 1-17 所示。

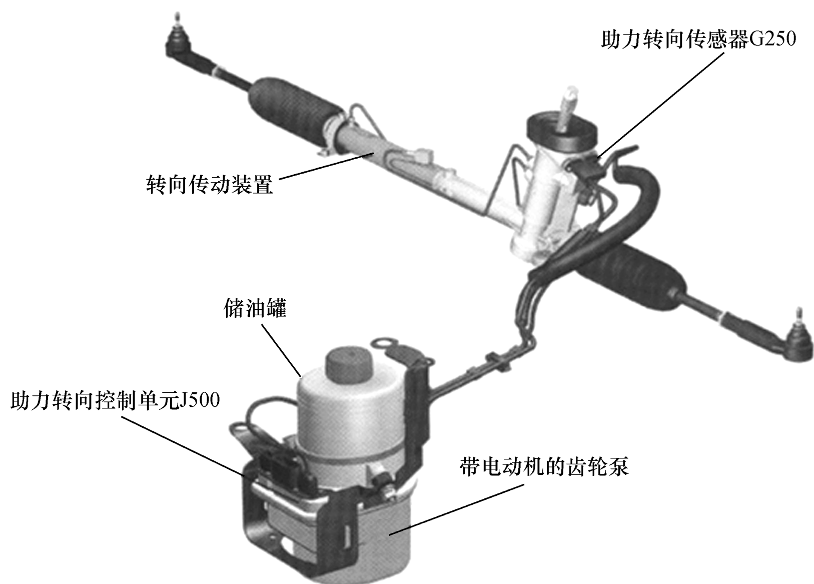


图 1-15 大众波罗轿车 EPHS 系统组成

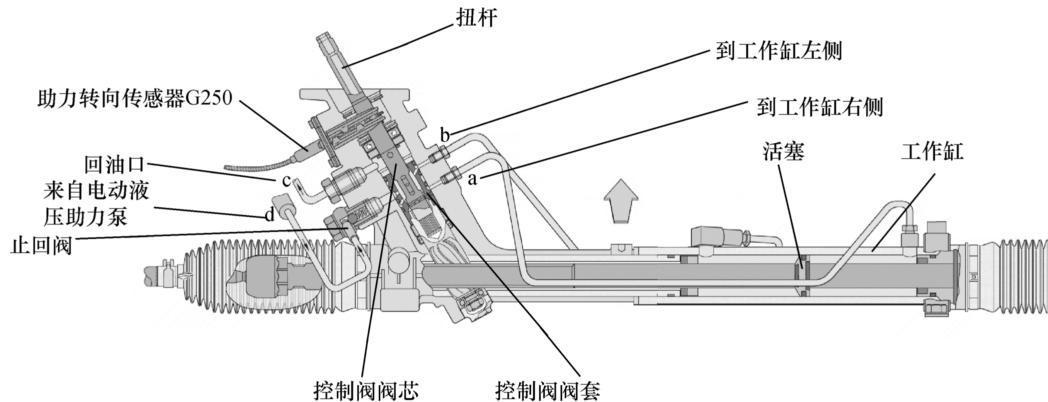


图 1-16 大众波罗轿车动力转向器的结构

大众波罗汽车使用的是 TRW 转向系统公司和 KOYO 公司提供的产品，这两种转向系统的工作原理相同。不同之处在于对转向角速度的测定方法上，从转向角传感器的外观上就可以看出这一点。

当汽车置于升降台上时，向右转动转向盘，就能看到助力转向传感器。图 1-18 是 TRW 转向器，它紧挨着一只扁平的助力转向传感器。图 1-19 是 KOYO 转向器，它的助力转向传感器是圆柱形的。

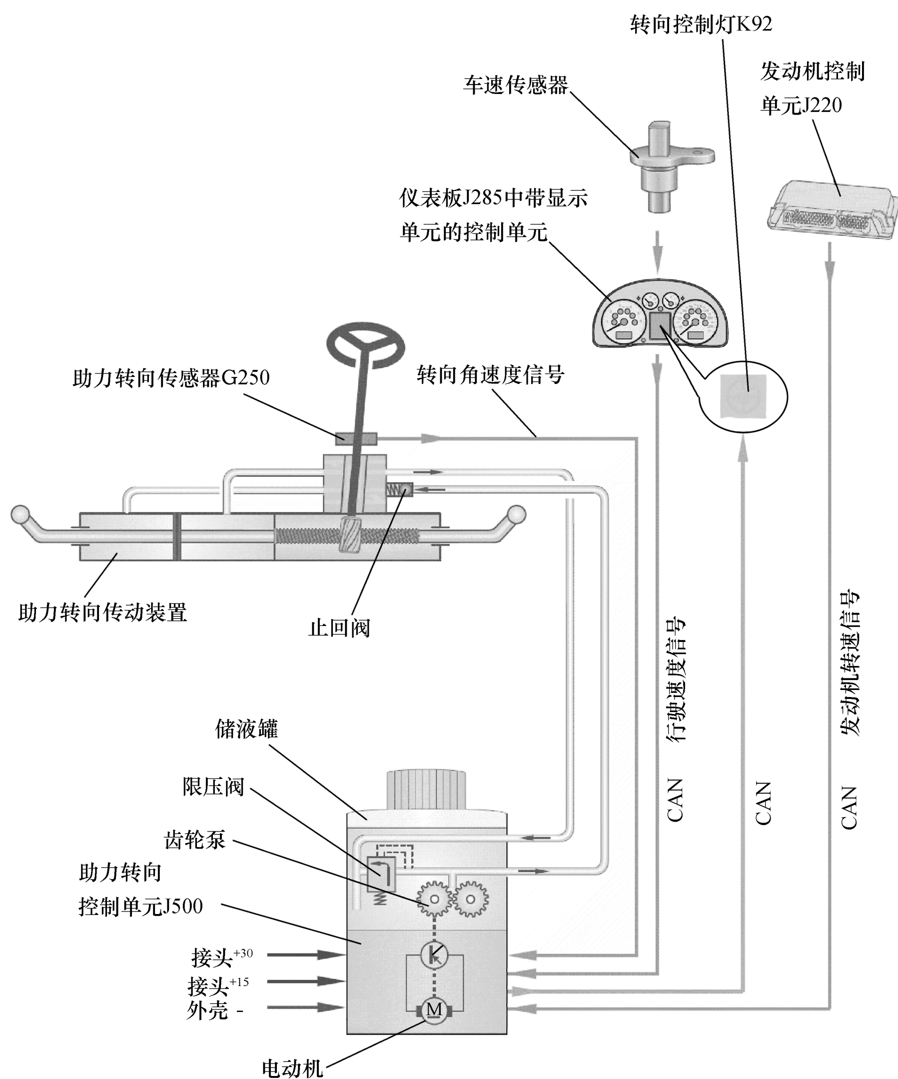


图 1-17　大众波罗轿车 EPHS 原理示意图

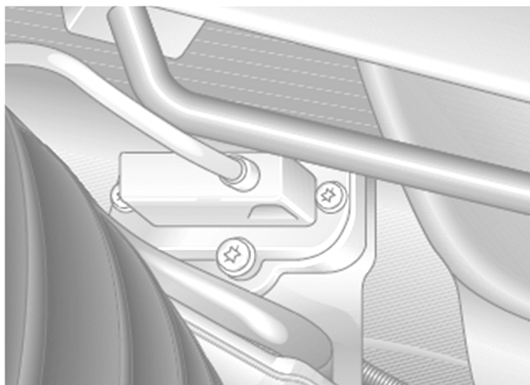


图 1-18　TRW 公司的助力转向传感器

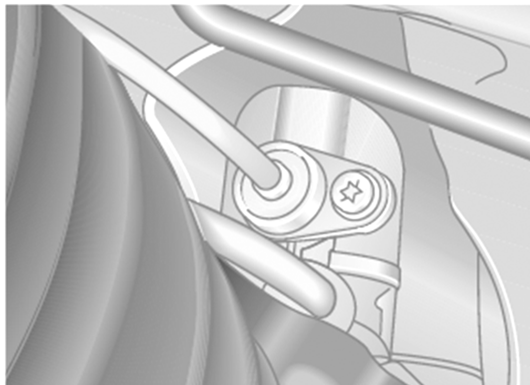


图 1-19　KOYO 公司的助力转向传感器

电动液压助力转向系统零部件简介如下：

1）助力转向传感器 G250。传感器安装在助力转向传动装置的旋转分流阀内，它测定转向角并计算出转向角速度。在传感器出现故障时，其转向功能也能得到保证。助力转向为设定的紧急运行状态，这时需要较大的转向力。故障码储存在助力转向控制单元 J500 内。

TRW 转向系统公司生产的助力转向传感器是个电容式传感器（图 1-20、图 1-21），固定在输入轴上的转子在 9 个小型平板电容器之间旋转，平板电容器的电容将由此而变化。传感器电子元件根据此电容变化计算出助力转向装置控制单元所需的信号（转向角及转向角速度）。

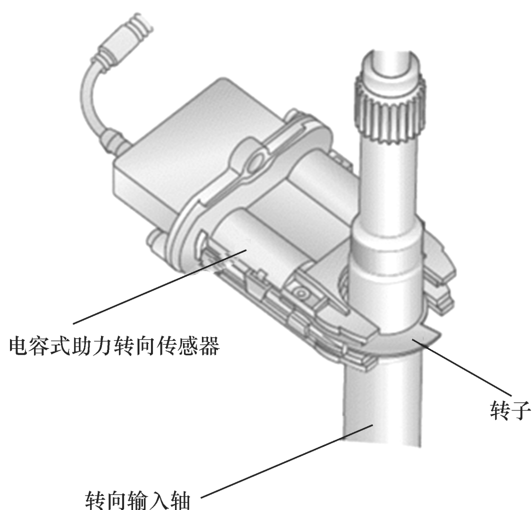


图 1-20 TRW 公司生产的电容式助力转向传感器

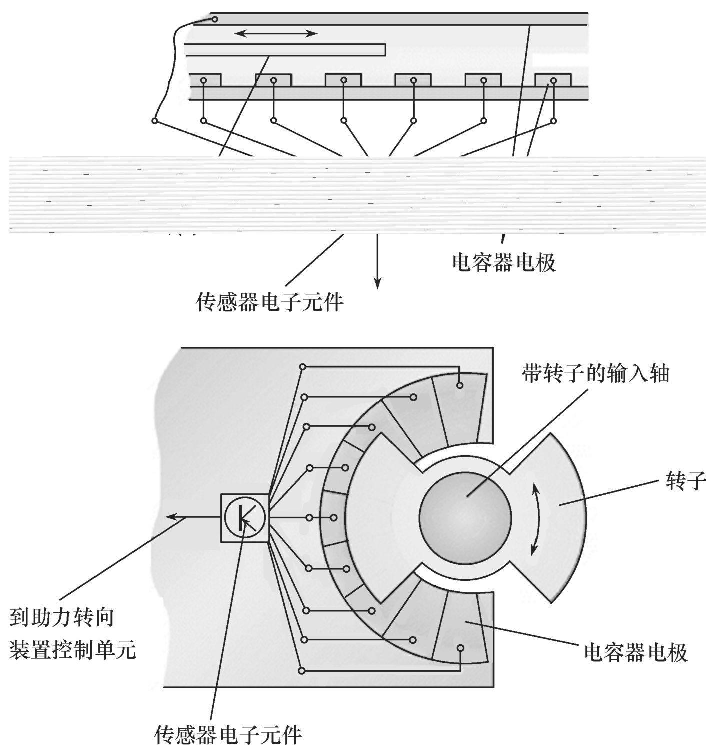


图 1-21 电容式助力转向传感器的工作原理

图 1-22 所示是 KOYO 公司生产的霍尔式助力转向传感器。它采用霍尔传感器原理，霍尔传感器由一个转子（带 60 块磁铁的磁环）、集成在传感器中的半导体层及霍尔集成电路所组成。

在霍尔集成电路中，供电电流流过半导体层。带有多极磁环的转子在空隙中旋转。如果转子上相应的磁极直接位于霍尔集成电路的范围之内，则人们将这个位置称作磁栅栏。在这

种情况下，霍尔集成电路内部的半导体层上会产生一个霍尔电压。该霍尔电压的大小取决于永久磁铁之间的磁场强度，如图 1-23 所示。

如果转子相应的磁极离开了磁栅栏，则霍尔集成电路的磁场将发生偏转。霍尔集成电路中的霍尔电压下降且霍尔集成电路断开，如图 1-24 所示。

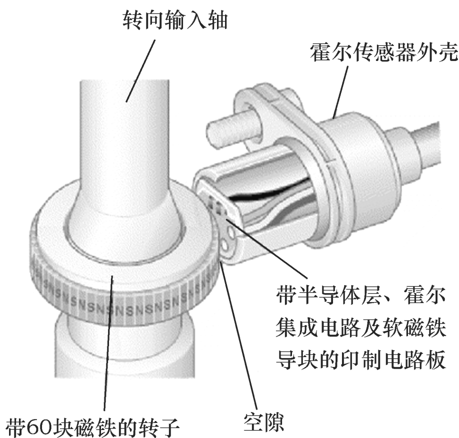


图 1-22　KOYO 公司生产的霍尔式助力转向传感器

2）J500 助力转向控制单元。控制单元集成在电动泵总成（图 1-25）中，电动泵总成中包括：带有齿轮泵、限压阀及电动机的液压单元，液压油的储液罐和助力转向控制单元。电动泵总成无需维护，其内部润滑由液压油来完成。助力转向控制单元根据转向角速度和车辆行驶速度，发出信号，驱动齿轮泵。瞬时供油量从控制单元中储存的通用特性图中读取。当车速低（如停车状态）时，转向角速度大，则供油量大，转向助力作用大，转向轻便。当车速高（如在高速公路上行驶）时，转向角速度小，则供油量小，转向助力作用小，即转向沉重一些。

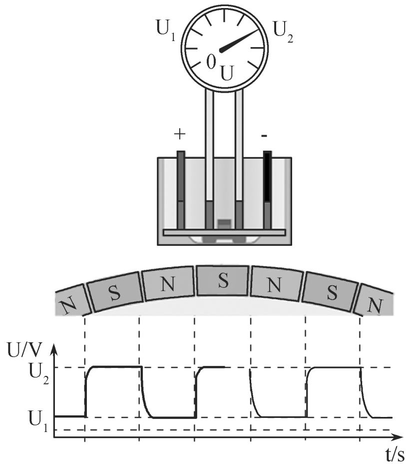


图 1-23　霍尔式助力转向传感器的工作原理（一）

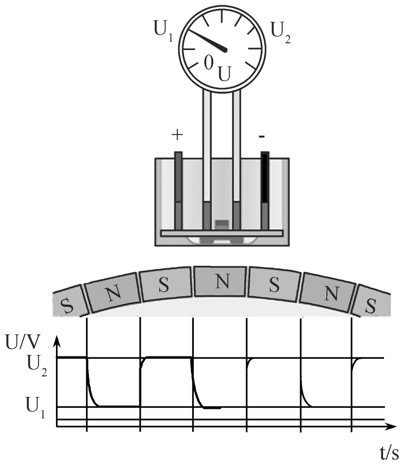
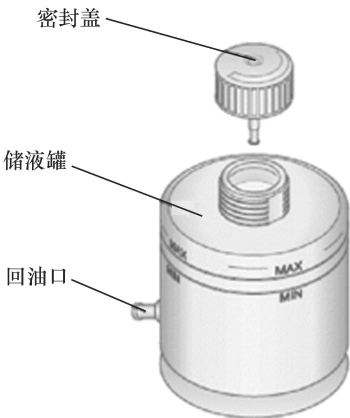


图 1-24　霍尔式助力转向传感器的工作原理（二）



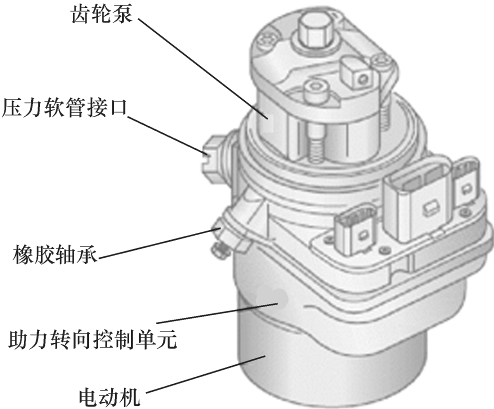


图 1-25　助力转向电动泵总成

控制单元能识别并储存运行中的故障，并具有再接通保护和温度保护功能。

3）转向液压泵 V119。由齿轮泵和电动机组成，该电动机只有在点火接通及发动机运转的情况下才工作。

转向角速度、车速及发动机转速信号将传送给控制单元。该控制单元可以调节电动机以及齿轮泵的转速，进而调节供油量，更确切地说是液压油的体积流量。

电动液压助力转向系统在受到干扰、故障或撞车后具有再接通保护功能。在发生撞车的情况下，这种再接通保护只需要一个诊断仪即可被去除。在出现其他故障的时候，再接通保护可以通过中断点火及发动机的重新起动来去除。如果再接通保护起作用，则为了使电动泵总成在过热之后能得到冷却，必须等待大约 15min 的时间。这段时间过后，如果再接通保护不能通过发动机的起动被去除，则说明在车载网络中有故障或电动泵总成已损坏。在这种情况下，必须进行自诊断并且有时要更换电动泵总成。

大众波罗轿车 TRW 转向系统（不带电子稳定程序 ESP）的电路原理图如图 1-26 所示。

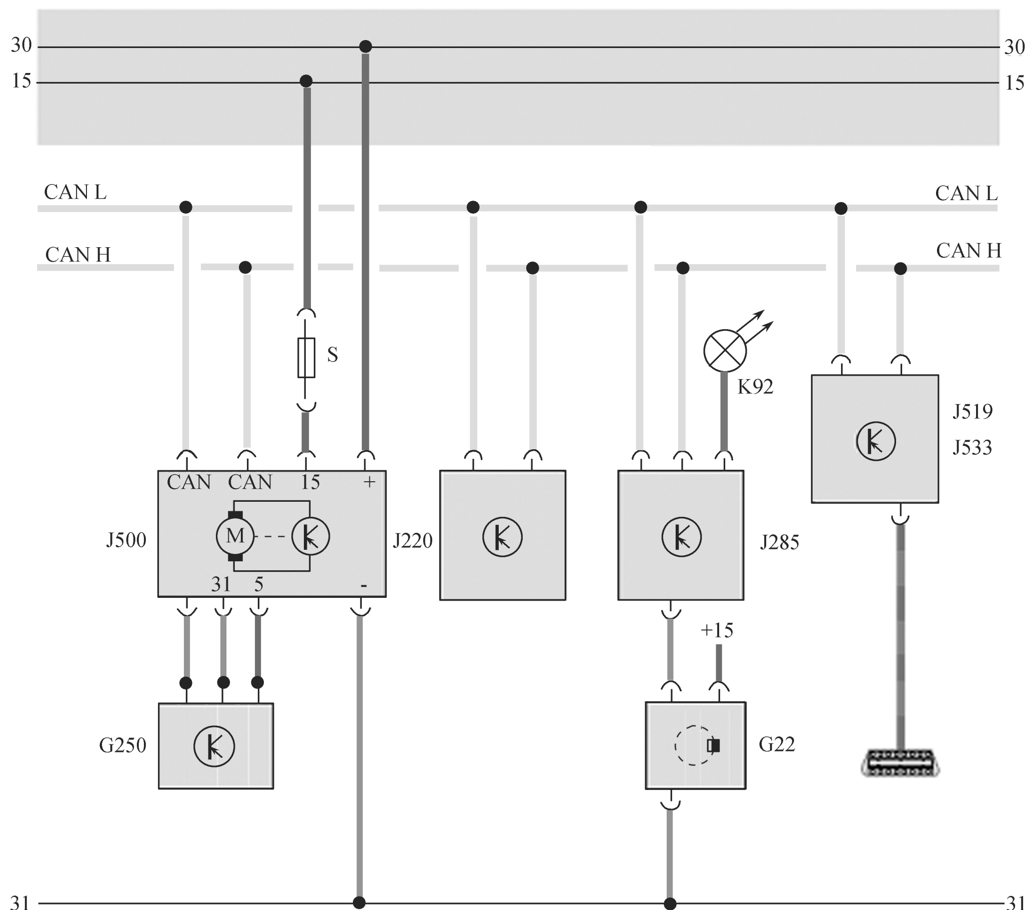


图 1-26　大众波罗轿车 TRW 转向系统（不带电子稳定程序 ESP）的电路原理图

G22—车速传感器　G250—助力转向传感器　J220—发动机控制单元　J285—仪表板控制单元　J500—转向助力控制单元　J519—车载网络控制单元　J533—数据总线的诊断接口　K92—转向控制灯（转向系统故障指示灯）　S—熔丝

3. 电动转向系统 (EMPS)

目前，已有不少车型采用了电动转向系统，如本田飞度、大众速腾，以及丰田皇冠、锐志、新卡罗拉等。

EMPS 主要由转矩传感器、车速传感器、电动机、减速机构和电子控制单元（ECU）等组成。通过传感器探测驾驶员转向操作转向盘产生的转矩或转角的大小和方向，并将所需信息转化成数字信号输入控制单元，再由控制单元对这些信号进行运算后得到一个与行驶工况相适应的力矩，最后发出指令驱动电动机工作，电动机的输出转矩通过传动装置而产生助力作用。

（1）丰田新卡罗拉的电动转向系统　图 1-27 为新卡罗拉的电动转向系统。

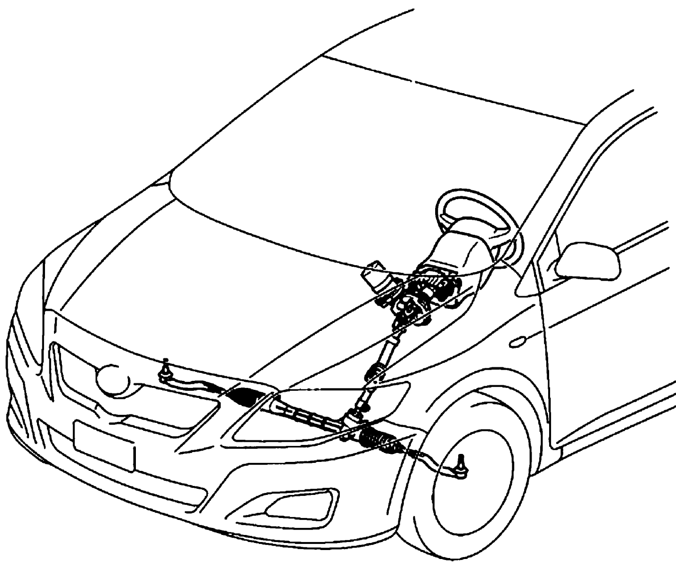


图 1-27　新卡罗拉的电动转向系统

此系统采用安装在转向柱上的电动机和减速机构产生转矩以辅助驾驶员转向。助力大小由 EPS ECU 计算。此系统具有良好的燃油经济性，因为安装在转向柱中的电动机可提供助力，且仅当需要助力时此电动机才提供能量。与常规液压动力转向系统不同，该系统无需管道、叶片泵、带轮或动力转向液，且耐用性良好。

系统组成示意图见图 1-28。

该电动转向系统主部件位置分布如图 1-29、图 1-30 所示。

其主要部件功能如下：

①转矩传感器。检测扭杆的扭曲度，将扭曲度转换为电信号从而计算施加到扭杆的转矩，并将此信号输出至 EPS ECU。

② 直流电动机。根据接收来自 EPS ECU 的信号产生助力作用。

③ 减速机构。通过采用蜗杆和车轮齿轮降低直流电动机的转速并将其传输至转向柱轴。

④ EPS ECU。根据接收到的来自各传感器的信号，控制安装在转向柱内的直流电动机运行，以提供助力。

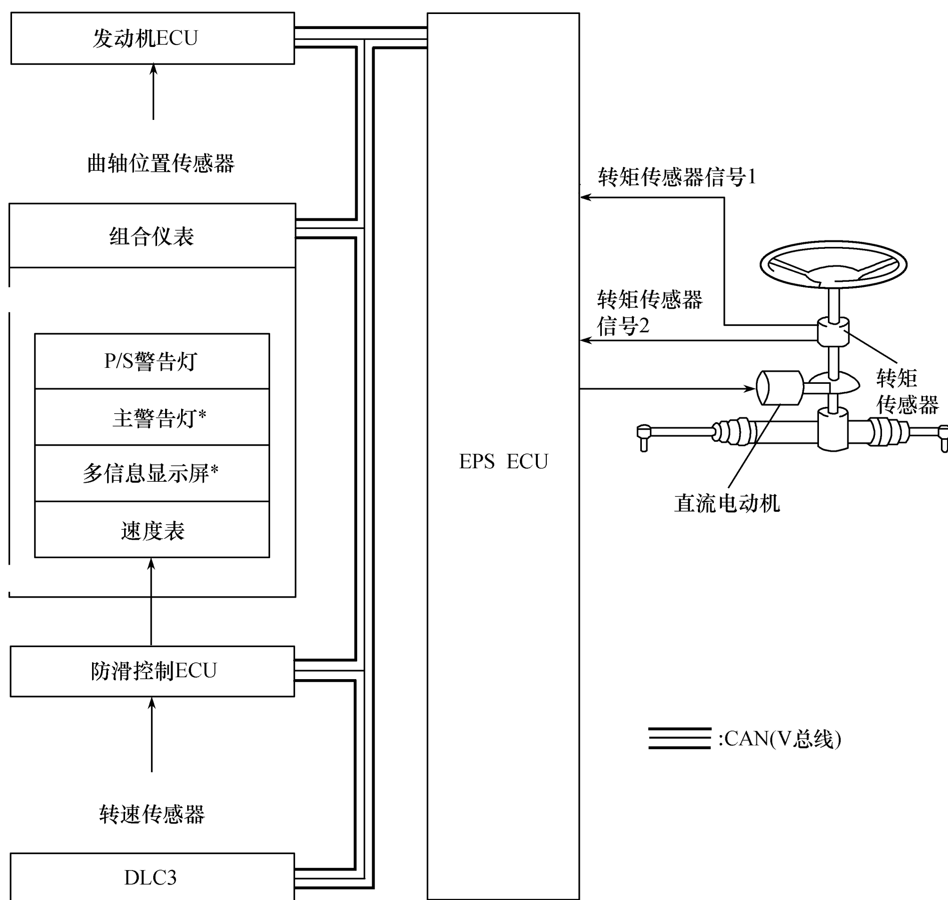


图 1-28　新卡罗拉的电动转向系统组成示意图

*：带光电显示屏式组合仪表的车型

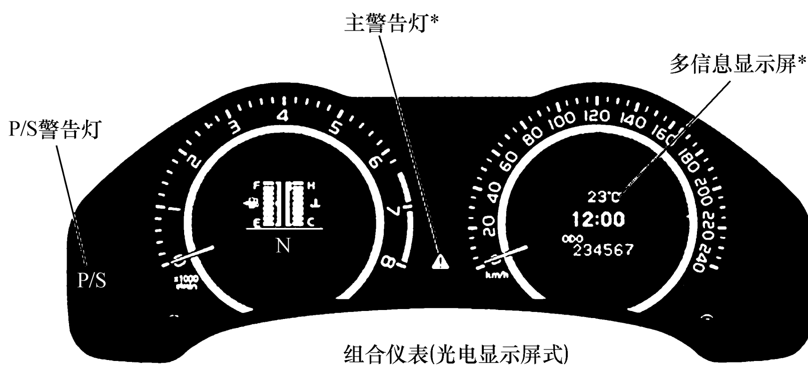


图 1-29　电动转向系统 P/S 警告灯

*：带光电显示屏式组合仪表的车型

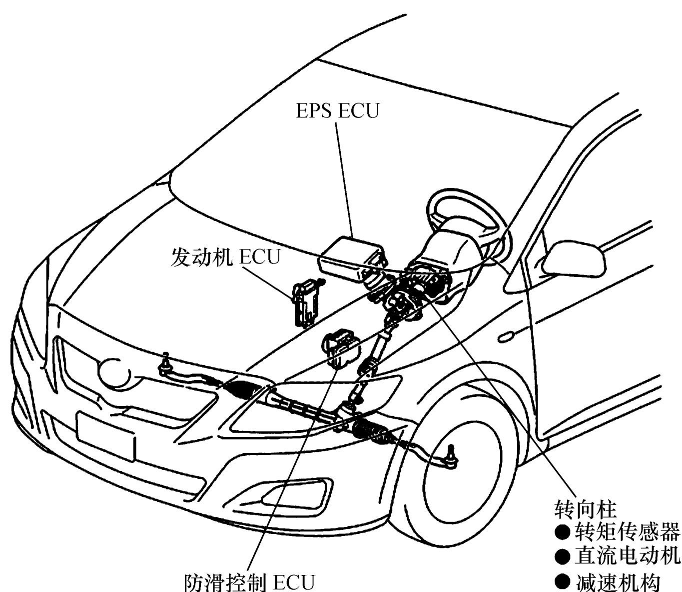


图 1-30　电动转向系统主部件位置分布

⑤ 发动机 ECU。将发动机转速信号输出至 EPS ECU。

⑥ 组合仪表。系统出现故障时，P/S 警告灯亮起。

⑦ 防滑控制 ECU。将车速信号输出至 EPS ECU。

主部件的结构和工作原理：

直流电动机、减速机构和转矩传感器安装在转向柱上，如图 1-31 所示。

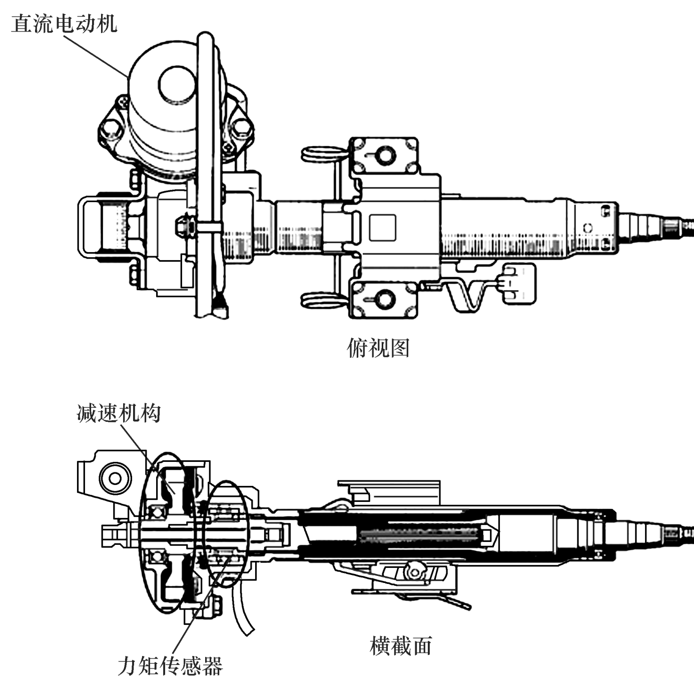


图 1-31　电动转向系统转向柱

1）直流电动机。直流电动机由转子、定子和电动机轴组成，如图 1-32 所示。电动机产生的转矩通过万向节传输至蜗杆。然后，此转矩通过车轮齿轮传输至转向柱轴。

2）减速机构。此机构通过蜗杆和车轮齿轮减小直流电动机的速度，并将其传输至转向柱轴。蜗杆由滚珠轴承支承以减小噪声和摩擦，其结构如图 1-33。

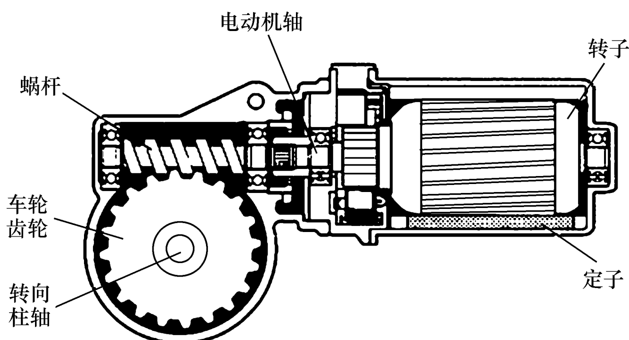


图 1-32 电动转向系统直流电动机

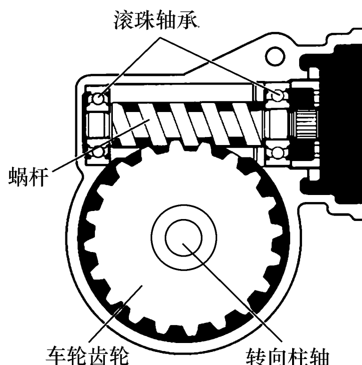


图 1-33 电动转向系统直流电动机减速机构

3）转矩传感器。转矩传感器检测扭杆的扭曲度，并将扭曲度转换为电信号从而计算施加到扭杆的转矩，并将此信号输出至 EPS ECU。转矩传感器的结构如图 1-34、图 1-35 所示。

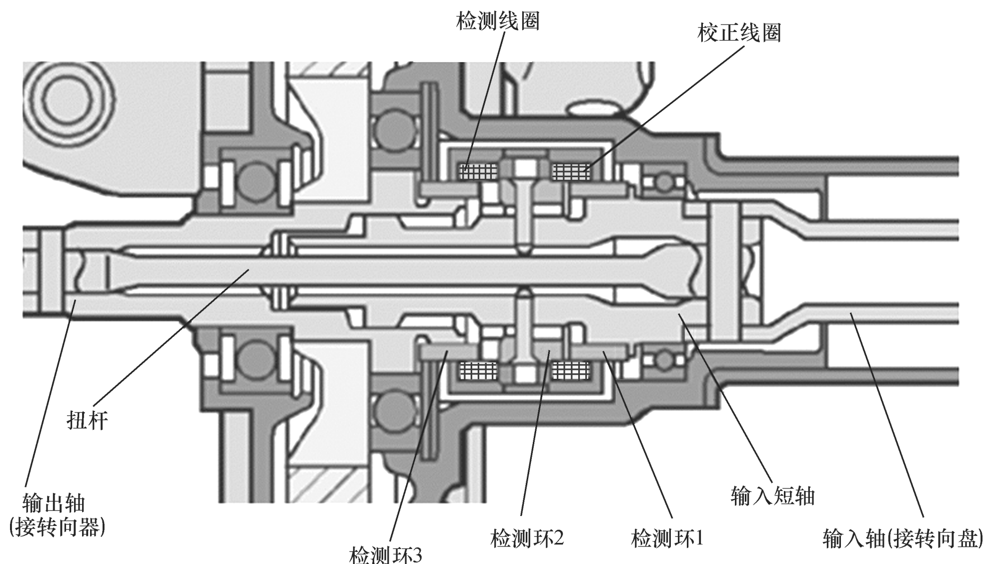


图 1-34 转矩传感器剖视图

检测环 1 和检测环 2 安装在输入轴上，检测环 3 安装在输出轴上。输入轴和输出轴通过扭杆接合起来。检测线圈和校正线圈安置在相应检测环的外面使其不接触便可完成励磁电路。

检测环 1 和 2 的功能是校正温度。它们检测校正线圈内的温度变化并校正由其引起的偏差。

检测线圈由输出两个信号 VT1 和 VT2 的双电路组成。EPS ECU 根据这两个信号进行控制，同时检测传感器故障。

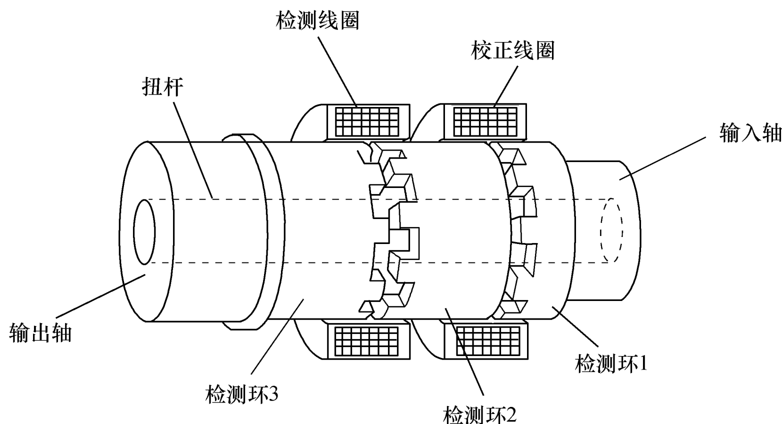


图 1-35　转矩传感器的组成

① 直线行驶。如果车辆直线行驶且驾驶员不转动转向盘，则 EPS ECU 判定此时输出规定电压，以指示转向盘的中间位置。因此，不会向直流电动机施加电流。

② 转向时。当驾驶员向右或左转动转向盘时，扭杆产生的转矩在检测环 2 和检测环 3 之间产生相对位移。

然后，此变化转换成两个电信号 VT1 和 VT2 并发送至 EPS ECU。当转向盘向左转动时，低于中间位置的电压输出如图 1-36 所示。

因此，根据这些输出检测转动方向。此外，转向辅助的量由输出值的大小决定。

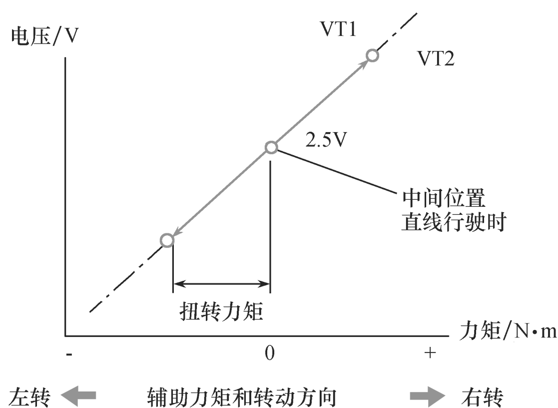


图 1-36　转矩传感器的输出

维修提示：

如果拆下转向柱或转向器再重新安装，则必须调节转矩传感器的零点。

4）EPS ECU。EPS ECU 接收来自各传感器的信号，判断当前车辆状况，并据此判定施加到直流电动机的辅助电流。

如果系统出现故障，失效保护功能停止输出电流并将控制转至手动转向。这时，P/S 警告灯亮起以将此故障告知驾驶员。

新款车型的 EPS ECU 一般具备下列控制内容或功能：

① 基本控制。根据转向转矩值和车速计算辅助电流并运行直流电动机。

② 惯性补偿控制。驾驶员开始转动转向盘时，确保直流电动机的起动运转。

③ 回正力控制。在驾驶员打满转向盘到转向盘趋于回正这段时间内，控制辅助回正力。

④ 阻尼控制。高速行驶时，当驾驶员转动转向盘时调节辅助量，从而减小车身横摆率的变化。

⑤ 系统过热保护控制。根据电流和持续时间估算直流电动机的温度。如果温度超过标

准值，则限制电流以防止直流电动机过热。

⑥ 故障自诊断功能。如果 EPS ECU 检测到 EPS 系统出现故障，则与检测故障功能相应的 P/S 警告灯将亮起以告知驾驶员。同时，将 DTC（故障码）存储在存储器中。

⑦ 失效保护控制。如果 EPS ECU 检测到 EPS 系统出现故障，不仅将使组合仪表内的 P/S 警告灯亮起以提示驾驶员，还会停止辅助控制。这时，EPS 系统的操作与手动转向方式相同。

当转矩传感器系统故障、转角传感器故障、DC 电动机短路（包括驱动系统故障）、DC 电动机过电流、动力转向 ECU 系统故障（包括增压电路系统故障）等将禁用动力辅助转向功能，当检测出电源电压故障时系统也会暂停动力辅助转向功能，电压恢复后可进行正常辅助。当 DC 电动机过热、动力转向 ECU 过热、动力转向 ECU 内部温度传感器系统故障、发动机转速和车速信号故障时将限制助力。当重新满足正常状态时回到正常控制。

（2）丰田皇冠轿车电动转向系统　各种车型的电动转向系统的工作原理是相似的，均是通过转矩传感器探测驾驶员在转向操作时转向盘施加的转矩，通过转角传感器探测转向盘转角的大小、方向和转动的速率，控制单元根据这些信号进行运算后得到一个与行驶工况相适应的力矩，最后发出指令驱动电动机工作，电动机的输出转矩通过减速传动装置的作用而助力。各车型电动转向系统的区别主要是转矩传感器、电动机结构及布置、减速传动装置的不同。

1）系统组成。图 1-37 为丰田皇冠轿车的电动转向系统的组成框图。

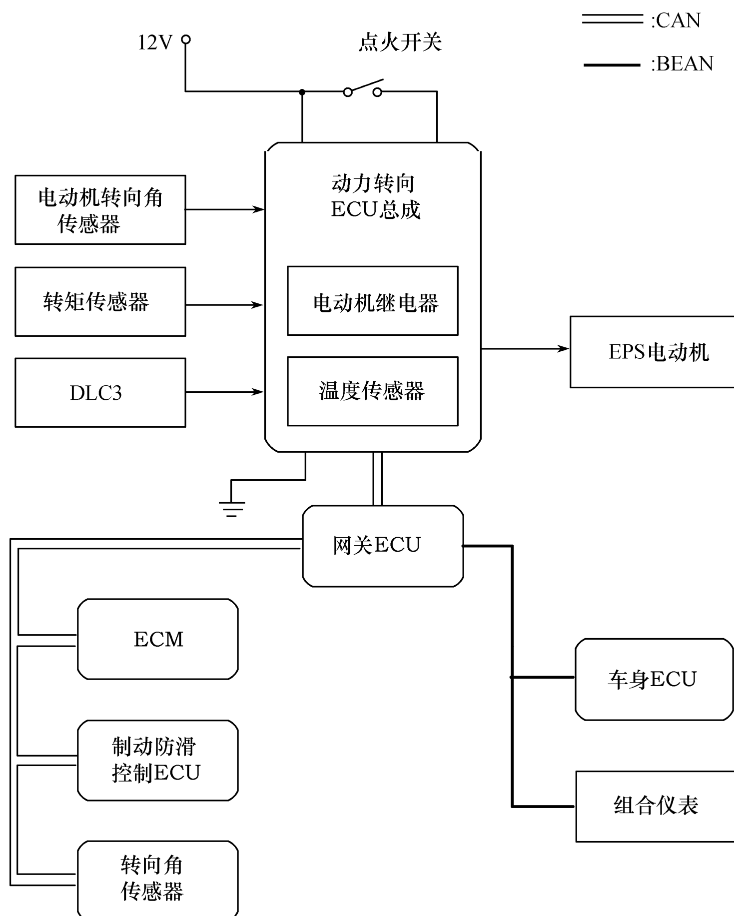


图 1-37　丰田皇冠轿车的电动转向系统的组成框图

2）分相器型（解角传感器型）转矩传感器。转矩传感器是 EMPS 系统中最重要的器件之一。转矩传感器的种类有很多，如丰田皇冠轿车、雷克萨斯 LS430、LS460 轿车的电动转向系统采用了一种叫分相器型（解角传感器型）的转矩传感器，如图 1-38、图 1-39 所示。

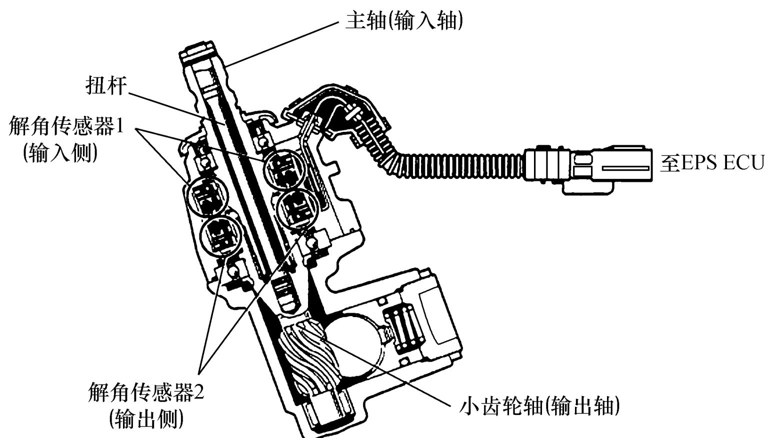


图 1-38 装用分相器型（解角传感器型）转矩传感器的电动转向器
（不带 VGRS 系统的车型）

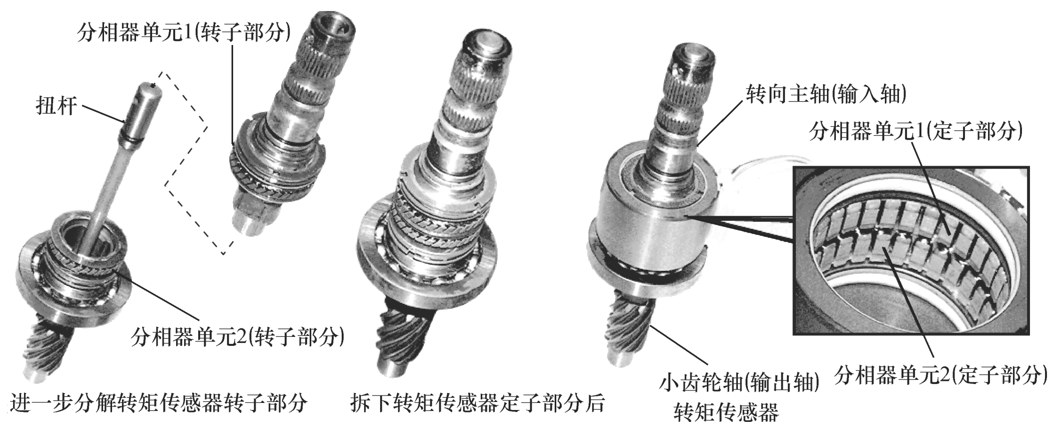


图 1-39 分相器型（解角传感器型）转矩传感器的结构分解

转矩传感器由两个分相器（解角传感器）、扭杆、主轴（输入轴）和小齿轮轴（输出轴）组成。转矩传感器的两个解角传感器分别安装在与扭杆连接的主轴（输入轴）和小齿轮轴（输出轴）上；在转向阻力作用下，此连接机构会形成与扭杆扭曲度相等的相对角度差。驾驶员转动转向盘时，在主轴（输入轴）传输到分相器 1（解角传感器 1）的角度和小齿轮轴（输出轴）传输到分相器 2（解角传感器 2）的角度间存在角度差。

① 直线行驶。如果车辆直线行驶且驾驶员不转动转向盘，则动力转向 ECU 根据传感器输出的电压，判断转向盘处于中间位置。因此，将停止向电动机供电。

② 转向时。驾驶员转动转向盘时，在转向阻力作用下，扭杆产生扭曲，解角传感器 1 和 2 的转子部分之间存在相对角度差，如图 1-40 所示。定子线圈部分有两种线圈分布，分别是励磁线圈和检测线圈（图 1-41），其上共有 7 根不同颜色的细导线与动力转向 ECU 连接。其励磁线圈对转子部分的线圈通过电磁感应起励磁作用；检测线圈则将输入、输出轴的

上下角差（转向转矩）检测出来，向电子控制单元输送电信号，这个电信号是以定子线圈上的两列正弦波信号的相位差，反映此时转矩传感器检测到的转矩大小。根据这些输入信号，动力转向 ECU 计算两个解角传感器检测到的相对角度差。动力转向 ECU 根据此角度差计算转矩值。然后，动力转向 ECU 根据计算出的转矩值和车速计算辅助电流。根据从转角传感器获得的信息，动力转向 ECU 以预定大小的电流运行电动机。

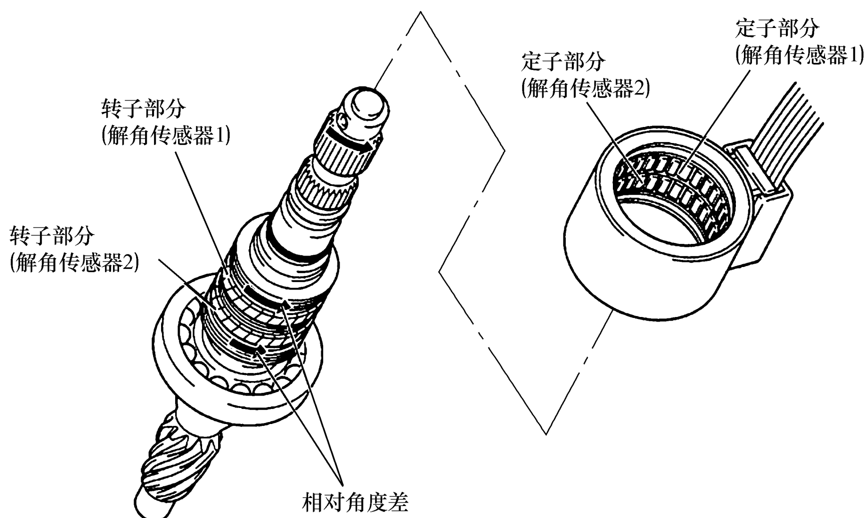


图 1-40 转向时，解角传感器 1 和 2 的转子部分之间存在相对角度差

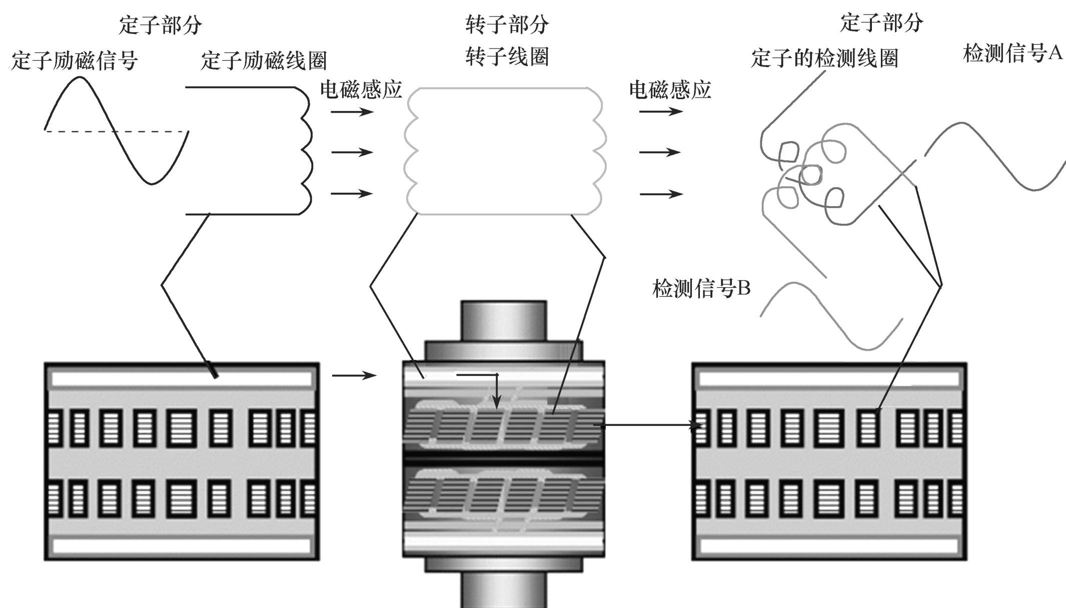


图 1-41 分相器型（解角传感器型）转矩传感器的工作原理

转矩传感器输出如图 1-42 所示，在较大的转向转矩下，扭杆扭转变形量大，上、下两解角传感器输出信号的相位差也相应增大，此时动力转向 ECU 将增大电动机的电流。

3）助力电动机与减速机构。丰田皇冠轿车电动转向系统的电动机为无电刷的三相交流

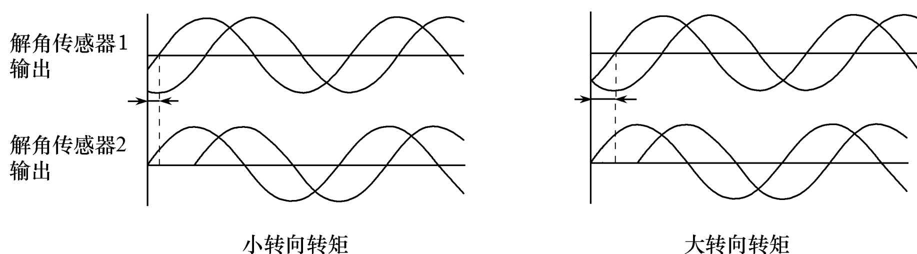


图 1-42　分相器型（解角传感器型）转矩传感器的输出

电动机，此电动机与齿条轴同轴，由转角传感器、定子和转子组成，如图 1-43、图 1-44 所示。

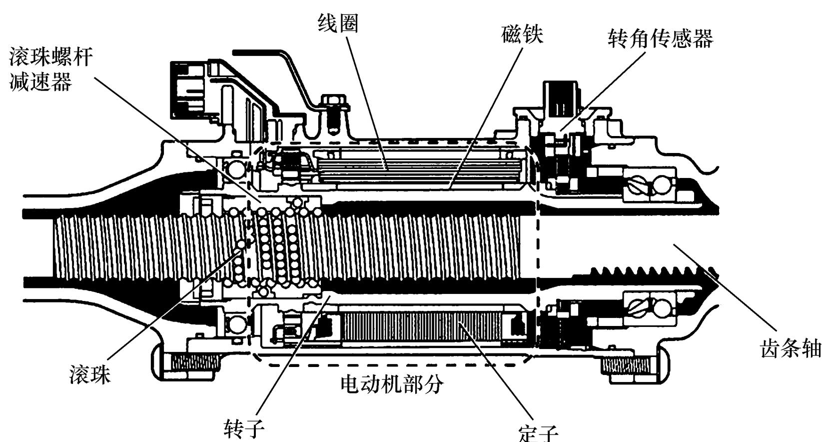


图 1-43　丰田皇冠轿车电动转向系统电动机结构剖视图

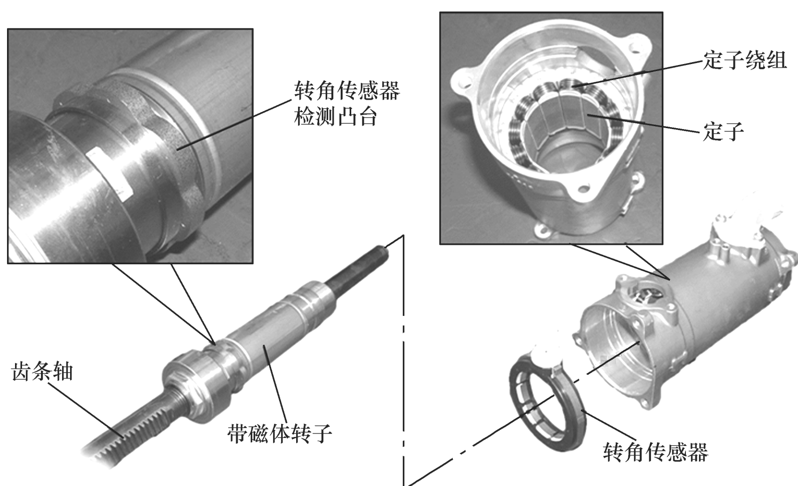


图 1-44　丰田皇冠轿车电动转向系统电动机结构分解图

定子线圈为三相双星形连接（如图 1-45 所示），电动机转子是强永磁式的。此电动机设计的转动惯量较小，便于汽车行驶时灵活的变转向操作。该电动机改变旋转方向极为方便，

只是将三相电源任意两相间进行换接即能实现迅速的转向助力操作。而且此电动机具有低噪声、高转矩的特点，能克服各种道路时的转向阻力，进行灵活转向操作。

供给助力电动机的电源为 27～34V 的三相交流电压。此电动助力转向控制单元中，还专门设置有提升电压的逆变器和电感储能线圈，由类似三相桥式、能将蓄电池的电压转为 27～34V 交流电压的电路完成。当驾驶员操纵转向盘时，则会自动根据转向阻力大小，输出 27～34V 之间的可变电压；当驾驶员未打方向或车辆直线行驶时，电动机不运转，此时电动机的电压为 0。

通过控制助力电动机的电流，来控制转向助力的大小。电动助力转向装置的控制单元接收转矩传感器和车速传感器的信号，并且根据转角传感器的数据判断当前车辆行驶状况，决定施加给转向电动机的助力电流大小（图 1-46）。

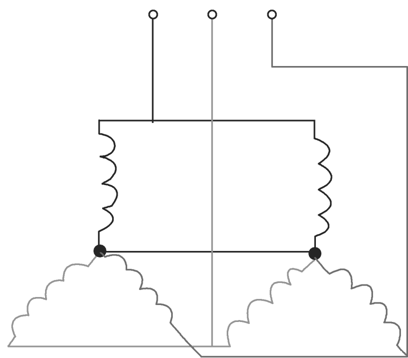


图 1-45　转向电动机定子的双星形绕组

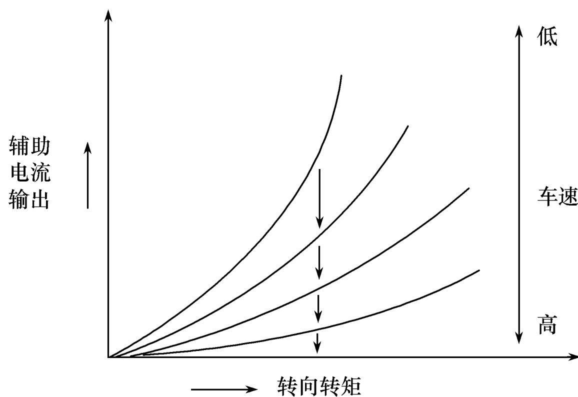


图 1-46　转向电动机的电流控制

转向电动机还有过热保护功能，当温度超过规定值，为保护电源和电动机不致过载，此时应限制电动机的助力电流，直至温度下降到规定的允许值为止。

由减速机构组成的滚珠螺杆减速器安装在转子上。滚珠将电动机的旋转转矩以轴向力的形式传输至齿条轴。

转角传感器由可靠性和耐用性优良的解角传感器组成。转角传感器检测电动机的转角并将其输出至动力转向 ECU，从而保证了 EPS 控制的有效性。

减速机构如图 1-47 所示，减速机构由表面光滑的高精度滚珠螺杆组成，实现了高效率和低噪声。滚珠螺杆减速器有四个滚珠导向器，并安装在转子上。滚珠通过滚珠导向器在滚珠螺杆减速器内循环转动。然后，电动机的旋转转矩通过滚珠从滚珠螺杆减速器中传出，从而将轴向力传至齿条轴。

（3）大众双齿轮式电动转向助力系统　在奥迪 A3、大众速腾等轿车上，采用了双齿轮式电动转向助力系统。其主要部件有转向盘、转向柱、转向盘转角传感器、转向转矩传感器、转向齿轮、转向助力电动机及转向助力控制单元组成。所谓双齿轮式电动转向助力系统是指转向助力通过另外一个同时作用在齿条上的小齿轮提供，该小齿轮的驱动是通过电动机完成的。图 1-48 为其系统组成示意图，图 1-49 为其系统输入、输出信号示意图。

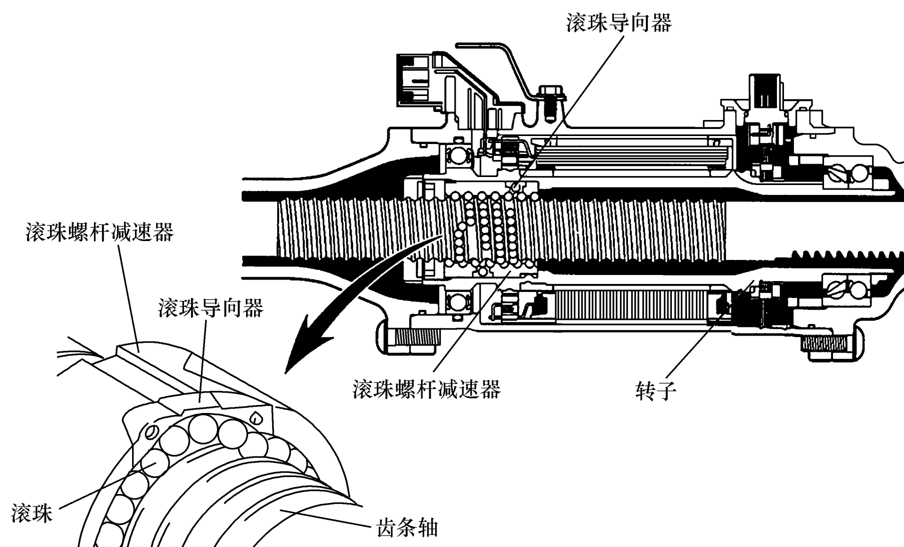


图 1-47　丰田皇冠轿车电动转向系统电动机减速机构

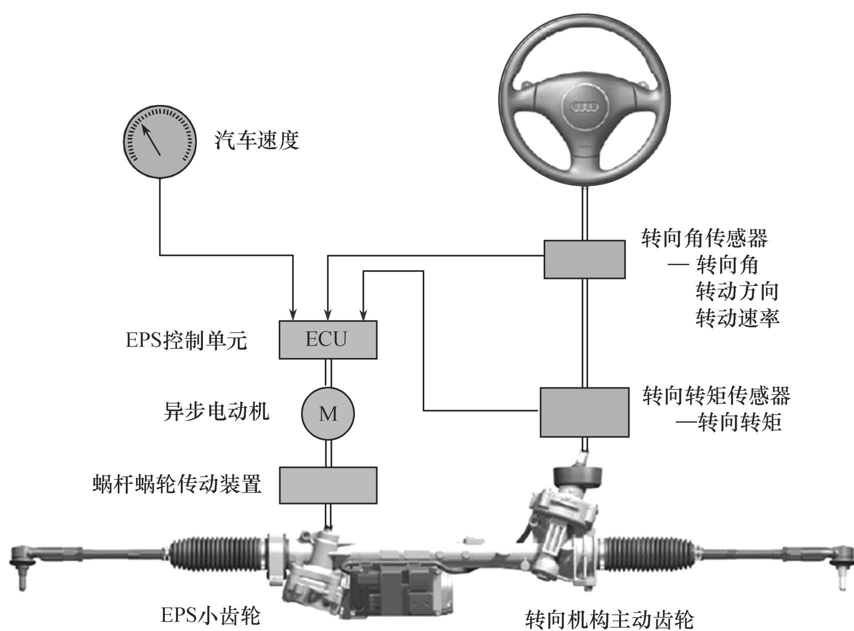


图 1-48　大众双齿轮式电动转向助力系统

根据驾驶员的转向要求，转向控制单元控制电动机工作，进而起到转向助力的作用。系统通过“主动回正”功能将转向轮置于中心位置，使车辆在各种情况下都能获得良好的平衡性及精确的直线行驶稳定性。直线行驶稳定功能可以帮助驾驶员在车辆受到侧向风的作用时，或者在上下颠簸的路面上行驶时更容易控制车辆直线行驶。

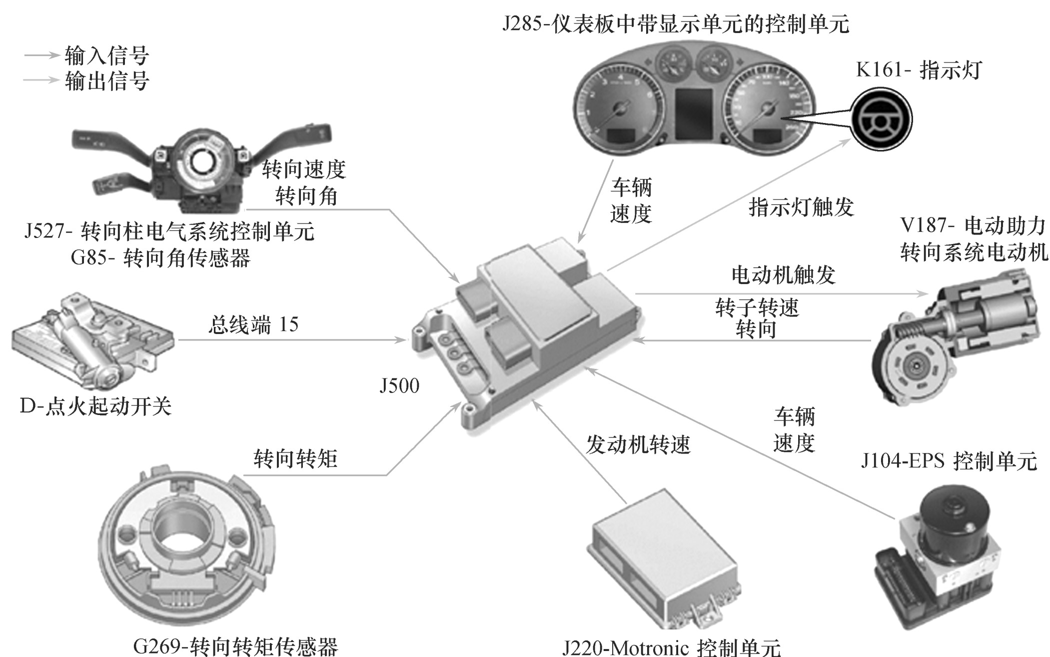


图 1-49 大众双齿轮式电动转向助力系统的输入与输出信号

如图 1-50 所示，当驾驶员旋转转向盘时，转向助力系统开始工作。安装于转向柱上的转向盘转角传感器将检测到的转向盘的旋转角度和旋转速度，以电信号的方式送至转向助力控制单元。与此同时，作用在转向盘上的转矩经过传递，驱动转向小齿轮旋转，转向转矩传感器检测到旋转转矩并将其传给控制单元。根据转向力、发动机转速、车速、转向盘转角、

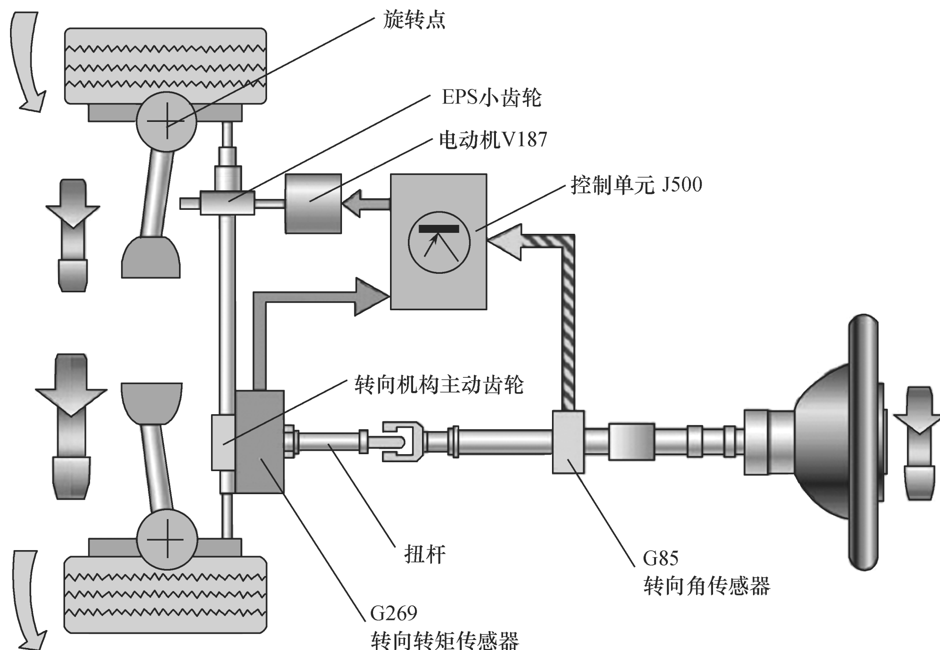


图 1-50 大众双齿轮式电动转向助力系统的转向操作

转向盘转速以及存储在控制单元中的特性曲线图，控制单元计算出必要的助力力矩并控制电动机开始工作。由电动机驱动的小齿轮（驱动小齿轮）提供转向助力，从而驱动转向齿条。作用在转向盘上的转矩和助力转矩的和即为推动齿条作用在转向器上的有效转矩。

如果驾驶员不再施加作用力在转向盘上或松开转向盘，扭杆扭转变形恢复。转向转矩将降为零。由于车桥几何形状，车轮上将产生复位力。但由于转向系统的摩擦，复位力一般都很小，以至于车辆不能回到直线行驶状态。控制单元 J500 可通过转向角传感器 G85 的转向角值对此进行识别。控制单元通过计算出转向转矩、车辆速度、发动机转速、转向角、转向速度和在控制单元中保存的特征曲线来计算出复位所需要的电动机转矩。电动机通电动作，促使车轮重新转回到直线行驶位置，如图 1-51 所示。齿条上的主动复位最大助力转矩被限制为 25N·m。

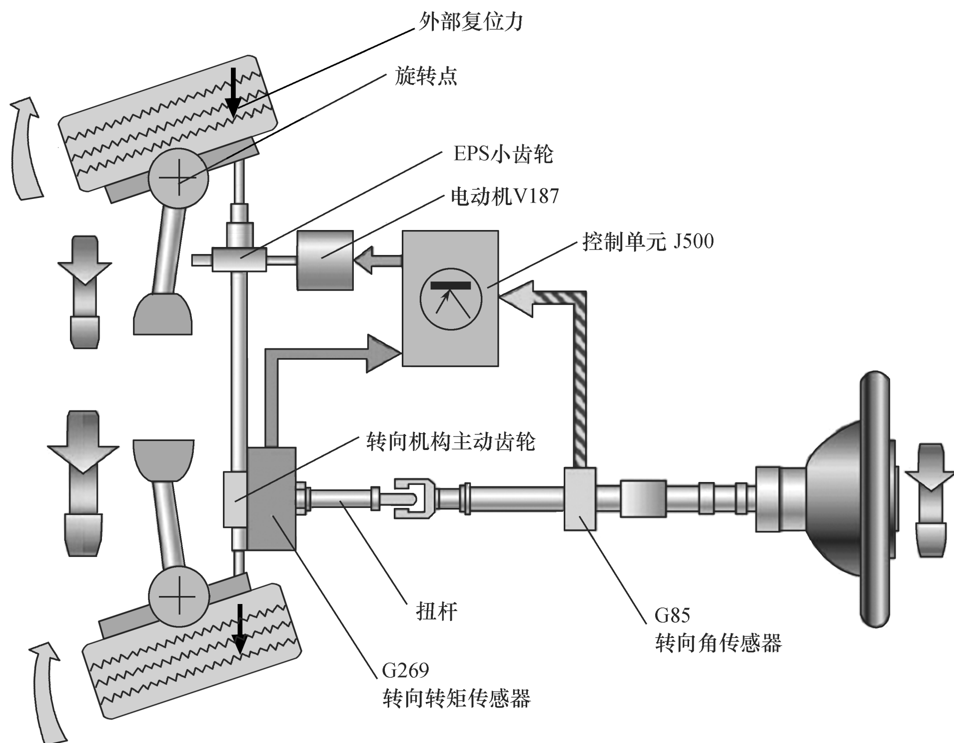


图 1-51　大众双齿轮式电动转向助力系统转向后的主动复位操作

转向盘转角传感器为光电式传感器，安装于转向柱上。当驾驶员转动转向盘时，转向柱带动转向盘转角传感器的转子随转向盘一起转动，光源就会通过转子缝隙照在传感器的感光元件上产生信号电压。由于转子缝隙间隔大小不同，故产生的信号电压变化也不同，其外观工作原理如图 1-52 所示。

此系统的转向转矩传感器为磁阻式传感器，其磁性转子和转向柱连接块为一体，磁阻传感元件和转向小齿轮连接块为一体。当转动转向盘时，转向柱连接块和转向小齿轮连接块反向运动，即磁性转子和磁阻传感元件反向运动，因此转向转矩的大小可以被测量出来并传递给控制单元，其外形及结构如图 1-53 所示。

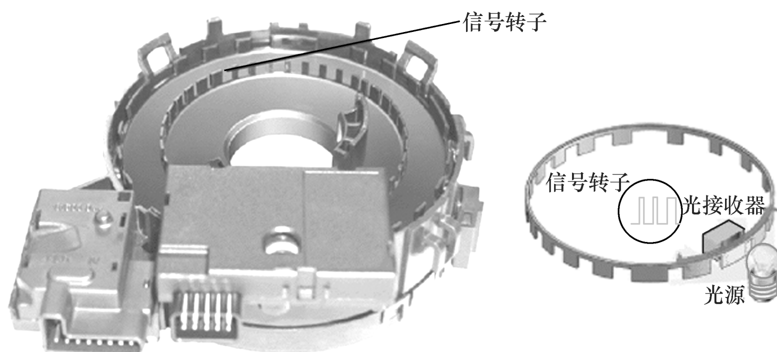


图 1-52 转向盘转角传感器的外观及工作原理

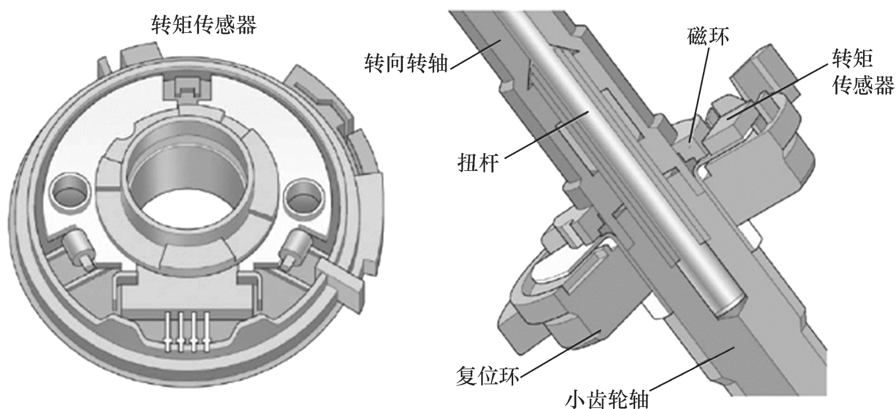


图 1-53 转向转矩传感器的外形与结构

根据不同工作状况的需要，驾驶员作用于转向盘上的转矩大小不同，由该转矩产生的驱动转向小齿轮旋转的转矩大小也不同。转向转矩传感器根据扭杆的扭转情况，检测出转向力的大小并输送至控制单元；同时转向盘转角传感器将检测到的驾驶员转动转向盘的角度也输送给控制单元；转子传感器将转动速度输送至控制单元，控制单元计算出合适的转矩，控制电动机工作。

4. 宝马主动转向控制系统

宝马在其一些旗舰车型上装配了主动式转向系统，英文名为 Active Front Steering，简称 AFS 技术。

主动式转向并不是需要汽车转向时它会自动转向，它只是对转向动作起一种辅助性作用，以便更安全、准确、轻松地按驾驶员的意图实现转向。它根据车速变化而不断改变转向系统中主动齿轮与被动齿条的传动比，在低速行驶时可以以较小的转向盘转动幅度而实现较大的转向，而在高速行驶时相反。让驾驶者在低速转向时感觉轻松，而在高速转向时感觉更加安全。因此，主动转向既可称为舒适性配置，也可称为安全配置。

在传统的转向系统中，由于转向盘和前轮的转向传动比是固定的，未配备主动式转向系统的车辆，通常需要转动转向盘三圈才能把车轮从一个极限位置偏转到另一端极限位置。而主动式转向系统通过在中、低速下减小转向盘传动角度，把这个操作过程减少到两圈。因此，在市区驾驶会感到较为轻松省力。

（1）主动转向系统的组成　主动转向系统主要由液压油罐、带有ECO（Electrically Controlled Orifice）阀的液压泵、转向辅助装置的液压油冷却装置、液压软管、带伺服电动机的叠加传动装置与转向器、电控系统组成，见图1-54。

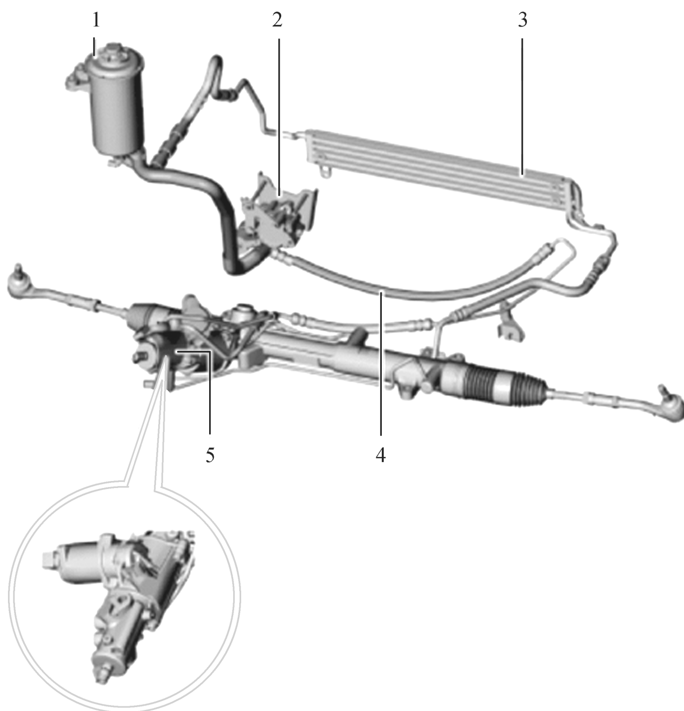


图1-54　主动转向系统

1—液压油罐　2—带有ECO阀的液压泵　3—转向辅助装置的液压油冷却装置　4—液压软管
5—带有伺服电动机的转向器

（2）主动转向系统的原理概述　宝马的主动转向系统，可以根据车速变化而不断改变转向系统中主动齿轮与被动齿条的传动比。通常一般轿车的转向传动比是16∶1和18∶1之间，而宝马的主动转向系统的传动比可以在10∶1至20∶1间不断变化。在低速时，例如50km/h时，转动转向盘10度，前轮即可转动1度，而普通轿车需要转动16～18度才能让前轮转动1度。反之，在高速时，例如，当车速达到200km/h时，转动转向盘20度才能让前轮转动1度，以增强其稳定性。

主动式转向是基于叠加转向角度的原理：在转向盘和转向传动之间装有一个电子控制的机械调控器，为驾驶者发出的转向角根据不同的需求叠加一个转向角度。这种效果来自一个行星齿轮装置，这个齿轮装置包括两个输入轴和一个固定在转向柱上的输出轴。其中一个输入轴连接到转向盘，另一个输入轴由电动机通过一个自锁式蜗轮蜗杆驱动机构，从而达到改变转向传动比的目的。最终从输出轴传出的整体转向角度由驾驶者输入的转向盘角度与电动机附加的角度叠加而成。

转动车轮所用的力量，并不是由电动机决定，而是由独立的转向助力系统与传统的转向装置一同决定的。主动式转向系统的其他组成部件还包括判定当前驾驶条件和驾驶者指令的独立控制单元和多个传感器。

依据驾驶条件，主动式转向系统会增大或减小前轮的转向角度。低速时，电动机的作用

与驾驶者转动转向盘的方向一致，可以减小对转向力的需求。一直行驶至中速状态之前，它将提供比传统轿车更直接的转向传动比。在宝马著名的 Servotronic（电子伺服助力转向系统）的作用下，转向操作保持轻松省力。在高速时电动机的运转方向与驾驶者转动转向盘方向相反，这减小了前轮的转向角度，从而使转向传动更间接，在高速行驶时增大转向所需力度（即减小助力作用）来防止任何不必要的非指令转向。

在危急情况下，主动式转向系统会修正由驾驶者操控的车轮位置，从而车辆能比在由驾驶者自行操作时更快速、高效地稳定行驶。

（3）主动转向系统各部件的结构、原理

1）主动转向的输入输出。主动式转向系统机械部分的核心是在液压动力转向器中增加一个带伺服电动机的叠加传动装置，该装置由行星齿轮组、蜗杆蜗轮机构、锁止件、驱动蜗杆的电动机等组成，该行星齿轮机构与常见的行星齿轮机构（如自动变速器内的行星齿轮机构）不同，它没有齿圈。如图 1-55 所示，行星架与蜗轮制成一体，行星齿轮为双联齿轮，两行星齿轮齿数不等。一个太阳轮为输入太阳轮，与转向传动轴相连，也就是连接到转向盘。另一个太阳轮为输出太阳轮，直接与转向器的转向小齿轮相连。行星架的外圆上制造出蜗轮，又与电动机带动的蜗杆啮合。蜗杆蜗轮机构又可在锁止元件作用下锁止不动，即行星架可以锁止不动，其传动路线参见图 1-56、图 1-57。

最终从输出轴传出的整体转向角度由驾驶者输入的转向盘角度与电动机附加的角度叠加而成。

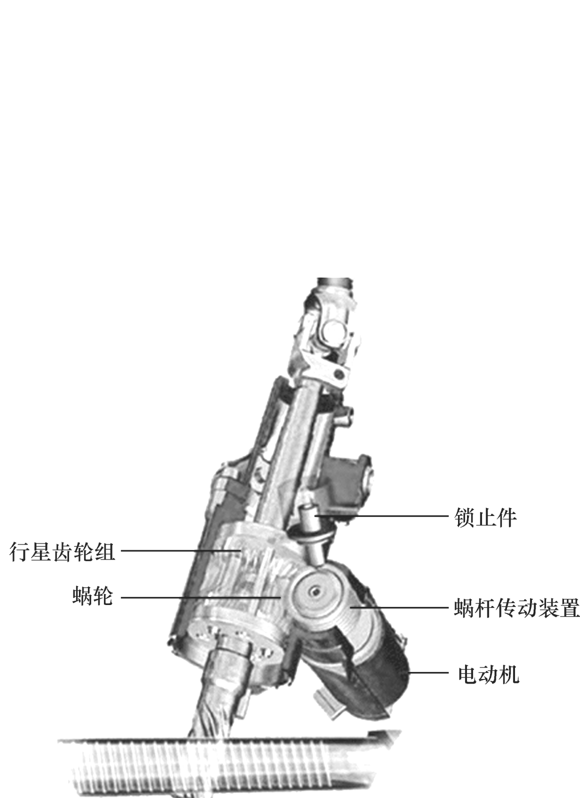


图 1-55　带伺服电动机的叠加传动装置

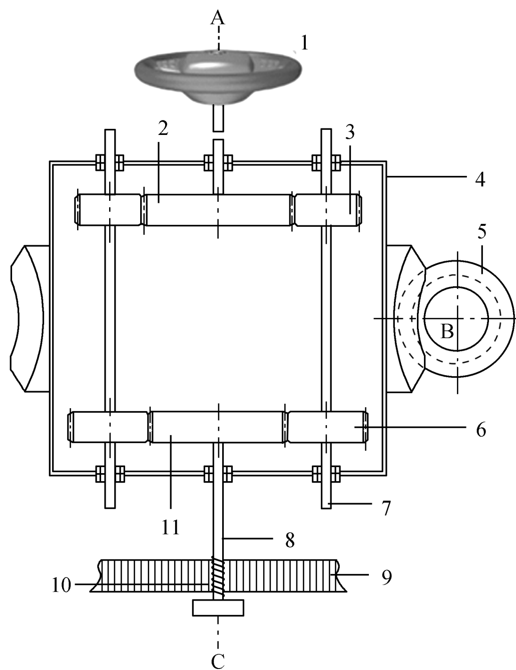


图 1-56　主动式转向系统带伺服电动机的叠加传动装置传动路线

1—转向盘　2—输入端太阳轮　3—行星齿轮　4—带蜗轮的行星架　5—电动机蜗杆　6—行星齿轮　7—行星齿轮轴　8—下部转向轴　9—转向器齿条　10—转向器驱动小齿轮　11—输出端太阳轮　A—输入轴Ⅰ　B—输入轴Ⅱ　C—输出轴

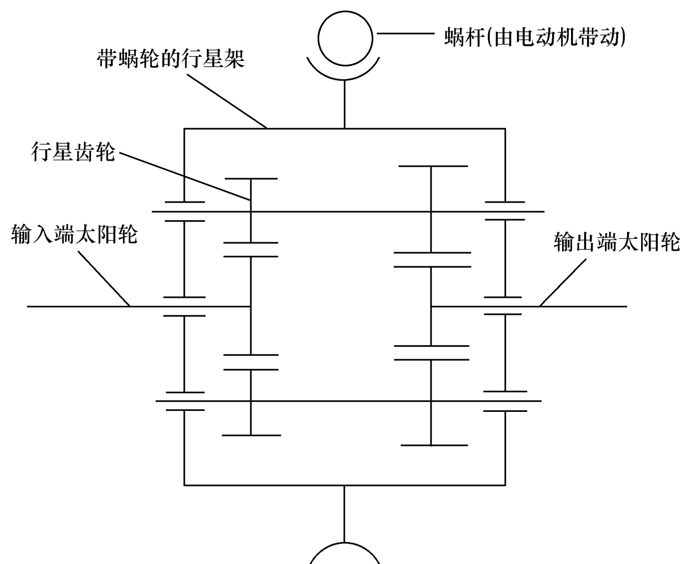


图 1-57　带伺服电动机的叠加传动装置传动路线示意图

如果电动机不工作，蜗杆即处于静止状态，带蜗轮的行星架也固定在一个位置上不动，该装置就以一个普通定轴齿轮机构工作，驾驶员操纵转向盘的动力经此齿轮机构传递至齿条，路面反作用力也可经此机构传至转向盘。因为同一轴上的两个行星齿轮大小不同，故从转向盘至转向器驱动小齿轮的传动比为 1∶0.76。

只要电动机向两个方向中的某个方向转动，行星架及行星齿轮就会随之转动。这意味着，向一个方向转动时输入轴Ⅰ和输入轴Ⅱ为正叠加；向另一个方向转动时，因两个输入轴反向运转而形成负叠加。这样，在转向盘转角相同时，一种情况下转向盘与电动机带动蜗轮引起的转动量正叠加将使车轮偏转角度增大，而另一种情况下将引起车轮偏转角度减小。

用反转法可以推导出该行星齿轮机构的运动特性方程式为：

$$n_1 - \gamma n_2 - (1-\gamma) n_3 = 0$$

式中　n_1——输入端太阳轮转速；

n_2——输出端太阳轮转速；

n_3——带蜗轮的行星架转速；

γ——传动比。$\gamma = \frac{z_2 \times z_{g1}}{z_1 \times z_{g2}}$；其中 z_1 为输入端太阳轮齿数，z_2 为输出端太阳轮齿数，z_{g1} 为与输入端太阳轮啮合的行星齿轮齿数，z_{g2} 为与输出端太阳轮啮合的行星齿轮齿数。

2）主动转向系统电控装置的组成与主要元件的结构、原理。主动转向系统电控装置主要由电动机位置传感器、叠加传动装置上的伺服电动机、温度传感器信号、总转向角传感器、转向辅助泵中的 ECO 阀、Servotronic 电磁阀、各系统控制模块和网络数据总线等，如图 1-58、图 1-59 所示。

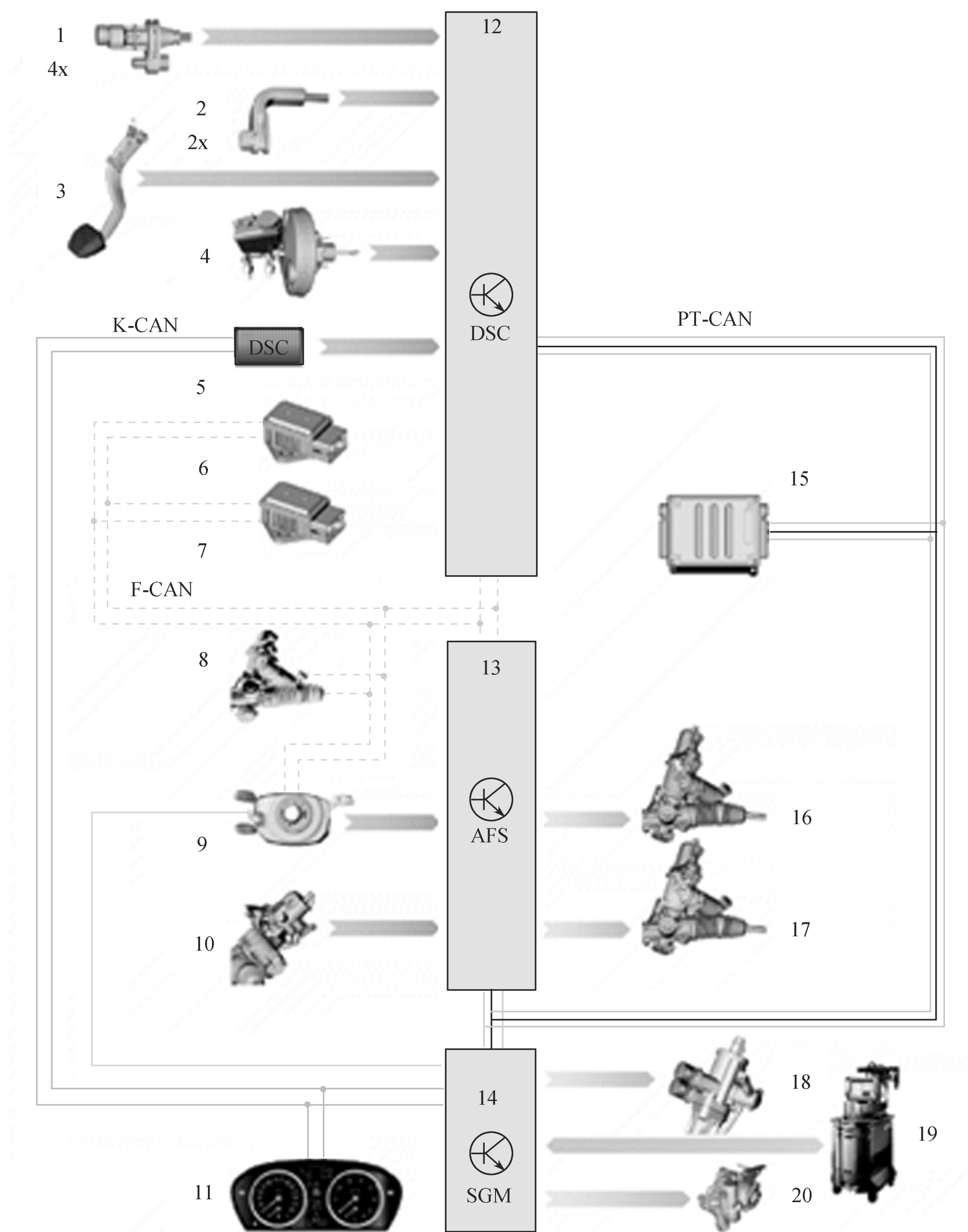


图 1-58 主动转向系统电控装置的组成

1—车轮转速传感器 2—制动摩擦片磨损传感器 3—制动信号灯开关 4—制动液液位开关 5—DSC 按钮 6—DSC 传感器 1 7—DSC 传感器 2 8—总转向角传感器 9—转向角传感器 10—执行单元的电动机位置传感器 11—组合仪表 12—DSC 控制单元 13—AFS 主动转向系统控制单元 14—SGM 控制单元 15—DME 控制单元 16—执行单元的锁止件 17—主动转向系统的执行单元 18—电子转向助力系统阀门 19—BMW 诊断系统（四轮定位） 20—液压泵及 ECO 阀 PT-CAN—动力传动系 CAN F-CAN—底盘 CAN byteflight：BMW 安全总线系统 byteflight K-CAN—车身 CAN

提示：SGM 是指安全和网关模块。

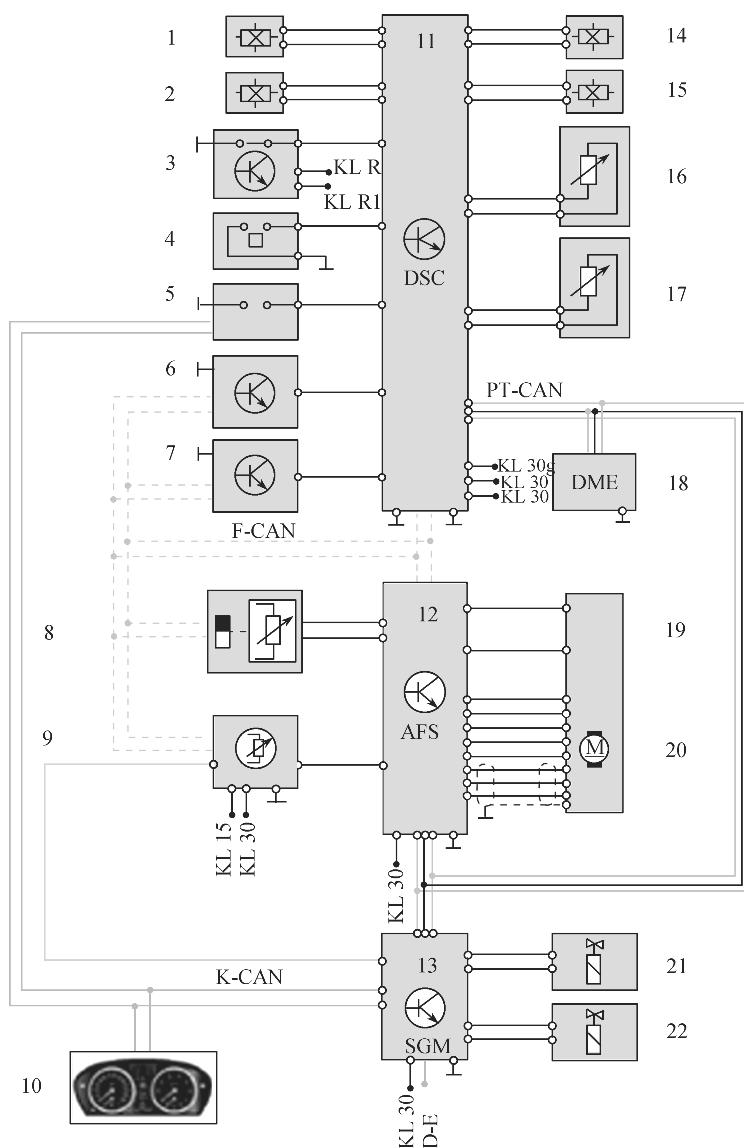


图 1-59　主动转向系统的系统电路原理图

1—左前车轮转速传感器　2—左后车轮转速传感器　3—制动信号灯开关　4—制动液液位开关　5—DSC 按钮　6—DSC 传感器 1　7—DSC 传感器 2　8—总转向角传感器　9—转向角传感器　10—组合仪表　11—DSC 控制单元　12— AFS 主动转向系统控制单元　13—SGM 控制单元　14—右前车轮转速传感器　15—右后车轮转速传感器　16—制动摩擦片磨损传感器　17—制动摩擦片磨损传感器　18—DME 控制单元　19—执行单元的锁止件　20—执行单元的电动机　21—电子转向助力系统阀门　22—液压泵的 ECO 阀　KL 15—总线端 KL 15　KL 30—总线端　KL 30　F-CAN—底盘 CAN　K-CAN—车身 CAN　PT-CAN—动力传动系 KL. KL 31—总线端 KL 31

① 电动机及其位置传感器与温度传感器。电动机位置传感器探测伺服电动机的转子位置，传送到主动转向控制单元，其电路及外形如图 1-60、图 1-61 所示。

② 总转向角传感器和转角传感器。总转向角传感器探测转向器上由主动转向控制产生的转向角。总转向角传感器在功能上与传统转向系中的转向角传感器相同。转向柱开关中心

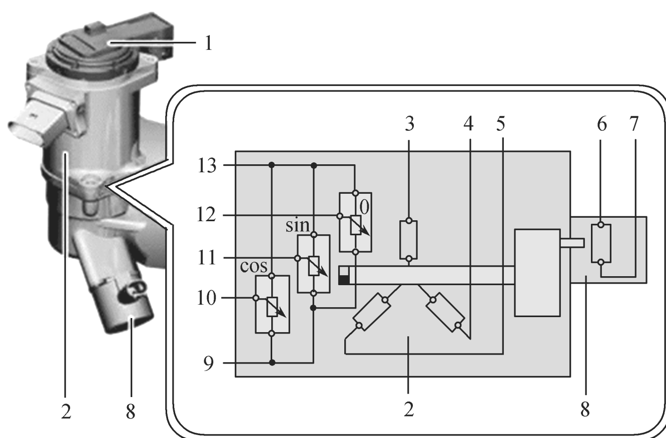


图 1-60 电动机及其位置传感器与温度传感器

1—电动机位置传感器 2—叠加传动装置上的伺服电动机 3—伺服电动机 W 相 4—伺服电动机 V 相 5—伺服电动机 U 相 6—伺服电动机锁的接地 7—伺服电动机锁的供电（12V） 8—伺服电动机锁 9—电动机位置传感器的供电（5V） 10—电动机位置传感器信号 2 11—电动机位置传感器信号 1 12—温度传感器信号 13—接地

上的转向角传感器探测转向盘上由驾驶员执行的转向角度。主动转向控制的控制单元（AFS 控制单元）需要这两个信号。总转向角传感器的安装位置如图 1-62 所示。

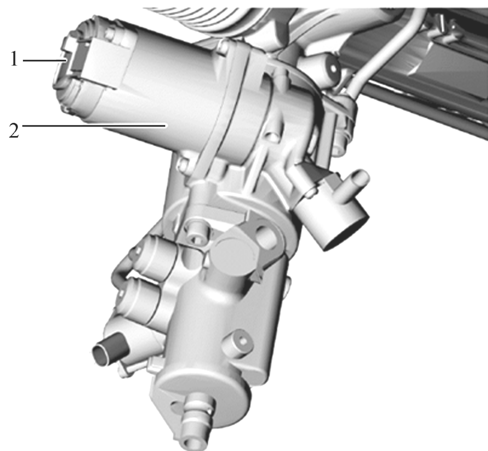


图 1-61 电动机及其位置传感器外形

1—电动机位置传感器 2——电动机

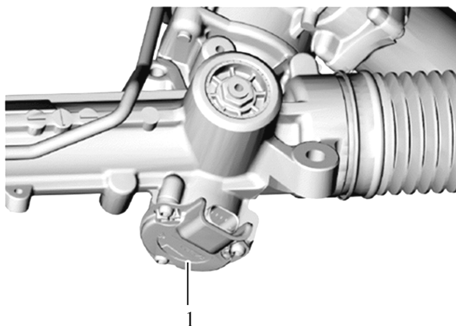


图 1-62 总转向角传感器的安装位置

1—转向器总转向角传感器

③ 液压助力转向器上的 Servotronic 阀。液压助力转向机构的各个部件安装在发动机室中。Servotronic 阀位于转向器上。液压助力转向机构由带 ECO 阀的转向辅助泵、液压油储油罐、转向辅助冷却器、液压管路和液压软管、带 Servotronic 阀的转向器组成。

Servotronic 伺服转向助力系统根据车速调节液压助力转向机构的转向助力作用。液压油流量是根据 Servotronic 阀控制进行不同节流作用的。这种节流作用取决于 Servotronic 阀的通电电流。

④ 转向辅助泵中的 ECO 阀。

转向辅助泵是一只叶片泵。转向辅助泵中安装了 ECO 阀（Electronically Controlled Orifice），如图 1-63 所示。ECO 阀控制液压油的体积流量，从而达到控制液压作用功率的目的。转向助力装置的液压源部分液压回路如图 1-64 所示。

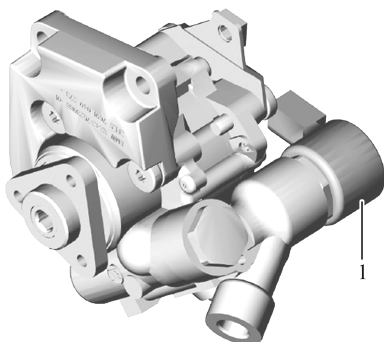


图 1-63　转向辅助泵中的 ECO 阀

1—转向辅助泵中的 ECO 阀

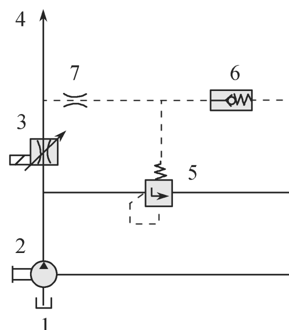


图 1-64　转向助力装置的液压源部分

1—储液罐　2—液压泵　3—ECO 阀门

4—齿轮齿条式液压助力转向机构　5—压力控制阀

6—限压阀　7—节流缓冲阀

3）带伺服电动机的叠加传动装置的工作过程。带叠加传动装置的动力转向器如图 1-65 所示，其内部结构如图 1-66 所示。

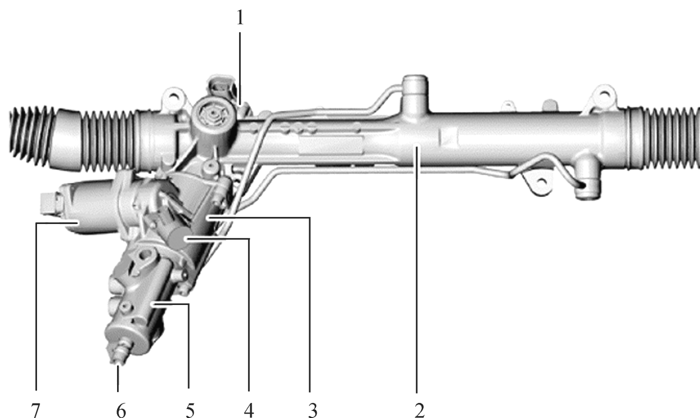


图 1-65　带叠加传动装置的动力转向器

1—总转向角传感器　2—齿轮齿条式动力转向器　3—行星齿轮组壳体

4—电磁锁　5—电子转向助力系统阀门　6—转向轴　7—电动机

主动转向控制的核心元件是一个无间隙的叠加传动装置。该叠加传动装置是一个带有两个输入端和一个输出端的行星齿轮组。转向柱的下部转向轴形成第一个输入端，行星齿轮组上的蜗杆传动装置形成第二个输入端。伺服电动机驱动（由控制单元控制）行星齿轮组的蜗杆传动装置。蜗杆与蜗轮的速比为 20.5∶1。出现故障时，蜗杆传动装置有自锁功能。

蜗杆传动装置将转向轴的直接驱动的转向角进行叠加。转向器主动齿轮上形成的总转向角由以下部分组成：一是通过转向盘驱动的转向角；二是通过伺服电动机驱动的转向角。

由驾驶员设定的最大转向角的叠加是由动态行驶参数、特别是由行驶速度决定的。

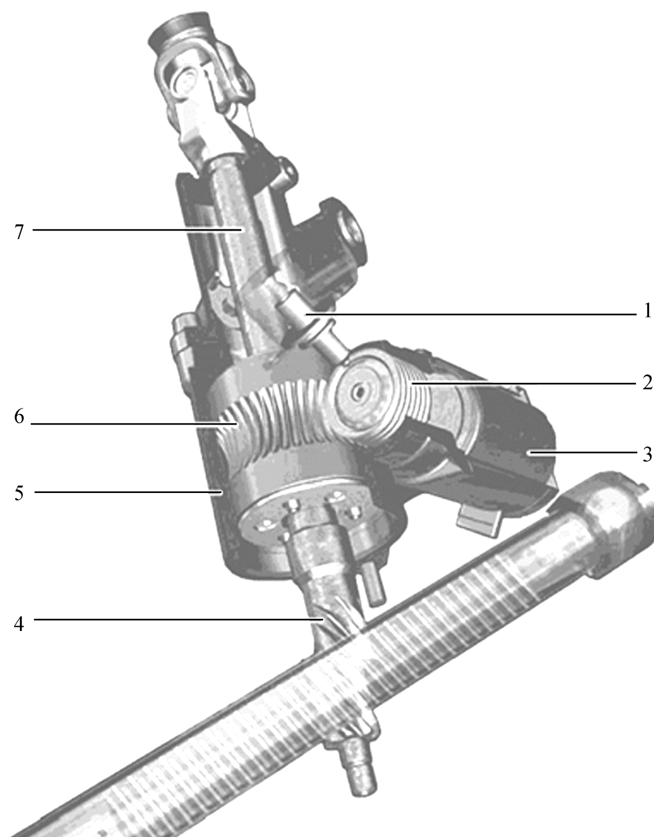


图 1-66 带伺服电动机的叠加传动装置的内部结构

1—伺服电动机锁 2—蜗杆 3—伺服电动机 4—转向器主动齿轮 5—叠加传动装置壳体 6—行星齿轮组 7—下部转向轴

当车速较小时（例如停车时），主动转向控制系统将转向轴的直接驱动的转向角进行大幅度叠加，转向非常直接。

当车速较高时，伺服电动机逆着驾驶员操作转向盘形成的转向角起作用。转向系的总传动比变得更加间接。叠加传动装置上的伺服电动机通过 3 相供电（U、V、W）。短路时伺服电动机最高在 120°左右转动。这样可以防止伺服电动机在短路情况下意外起动运行。伺服电动机中有一个温度传感器。这个温度传感器监控伺服电动机的温度。

在车辆处于静止状态时或系统出现故障时，伺服电动机锁卡住伺服电动机。这时，伺服电动机锁卡入蜗杆传动装置上的啮合齿中。该锁通过一个弹簧预紧，并通过电磁阀通电克服该预紧力，从而使锁止件解锁。当电磁阀断电时锁止件重新锁止。叠加传动装置被卡住后，驾驶员可以继续控制转向，这时的转向系统与传统的转向系统相同，转向盘和前轮之间始终保持纯机械式传动比。从供电电压约 3.2 V 起，伺服电动机锁解除联锁。

主动转向系统最大的特点，就是依据驾驶条件，自动调节车辆转向传动比，从而增加或减小前轮的转向角度。在低速时，电动机的作用与驾驶者转动转向盘的方向一致，转向传动

比增大，可以减少驾驶者对转向力的需求。在高速时，电动机的运转方向与驾驶者转动转向盘方向相反，这减少了前轮的转向角度，转向传动比减小，转向稳定性提高。

① 停车时会加大转向盘转向齿轮比，这意味着驾驶员无需将转向盘打到底就能完成轻松省力的停车动作。

② 市区或一般乡间道路的驾驶状态下，AFS 拥有比一般转向系统更明快直接的手感，让车辆反应更敏捷。

③ 车速提高时，转向盘惯性会阻碍驾驶员不经意的转向盘转动动作，传递信号不像低速时那么敏感，提高了驾驶安全性。

④ 当车辆处于激烈操控的急转弯状态时，AFS 会调低转向盘灵敏度以维持更为直觉化的转向手感，甚至在更急迫的状态下，AFS 内部的调节器会早 DSC（动态稳定控制）一步强制介入，来维持车身稳定性。

主动式转向进一步增强了 DSC 的性能，主动式转向系统始终通过车载网络与 DSC 单元联网。更灵活，更舒适，更安全，这些都是主动式转向与 DSC 进行理想搭配带来的好处。在危急条件下，比如在公路上高速行驶时突然变道以超越另一辆车然后回到原车道时，由于转弯半径更小，所有的车辆都易出现转向过度的情况，从而引起偏航等反应（车辆会沿直角的线路运动），驾驶员可能会和车辆一起失去控制。在这种情况下，主动式转向在一开始就会进行干预降低偏航情况的发生，很平顺和有效地稳定车辆，驾驶员和乘员几乎感觉不到该系统的存在。所以，在驾驶装备主动式转向系统的宝马时，DSC 不必像在其他车辆中那样干预驾驶。不同于 DSC 通过干预制动过程而降低行车速度（虽然只是在有些情况下会有轻微影响），主动式转向只通过修正转向角度，在不被察觉的情况下保证行驶的平稳性。因此，DSC 只在主动式转向系统无法控制车辆时进行干预，这说明这两个系统是一个完美的组合，主动式转向系统在理想状态下对 DSC 进行补充。

⑤ 当两边制动力不平均时（例如处在两边摩擦力不等的状态下），AFS 系统会自动提前增强稳定力道。

主动转向系统的电路接通条件是总线端 KL15 接通且发动机正在运转。起动发动机后，系统将执行转向盘位置与车轮转向角的同步化处理。这样才能确保系统处于关闭状态（被动状态）时，移动转向盘后，转向盘位置与车轮转向角协调。必要时，驾驶员可以感觉到转向盘的转动或者车轮的运动。

5. 雷克萨斯可变传动比式电动转向系统

雷克萨斯 LS460 轿车在配置空气悬架的车辆上采用了 VGRS（可变齿轮比转向）系统，如图 1-67 所示。VGRS 系统根据车速对转向角进行可变控制。同时新款车型采用 VDIM（车辆动态综合管理系统）以实现车辆的整体控制。根据行驶状况，EPS、VGRS 系统与制动系统进行协调控制以提供转向辅助力矩和控制齿轮比，从而实现了极佳的行驶稳定性和操控性。

（1）系统主要部件名称、位置分布及其功能　图 1-68、图 1-69、图 1-70 为主要部件位置分布图。

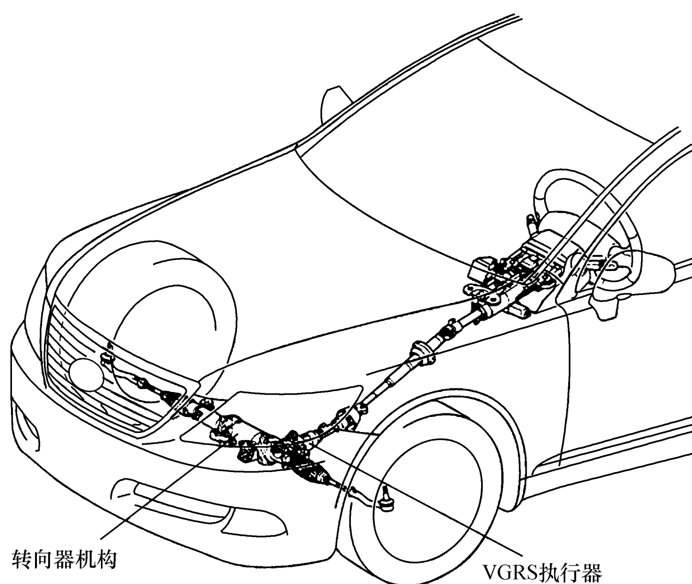


图 1-67　雷克萨斯 LS460 轿车的 VGRS（可变齿轮比转向）系统

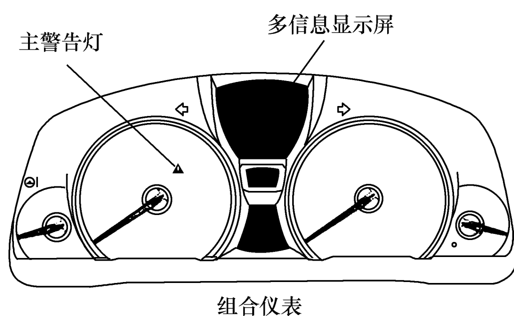


图 1-68　VGRS 主要部件位置分布（仪表）

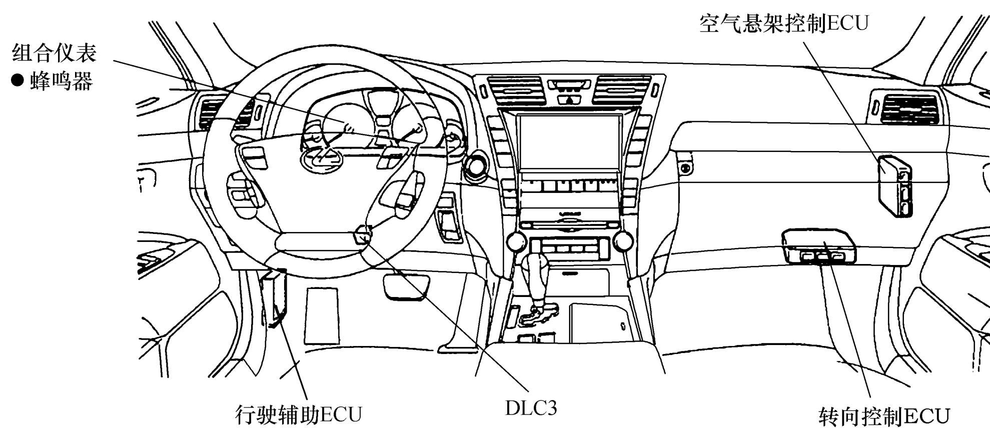


图 1-69　VGRS 主要部件位置分布（驾驶室）

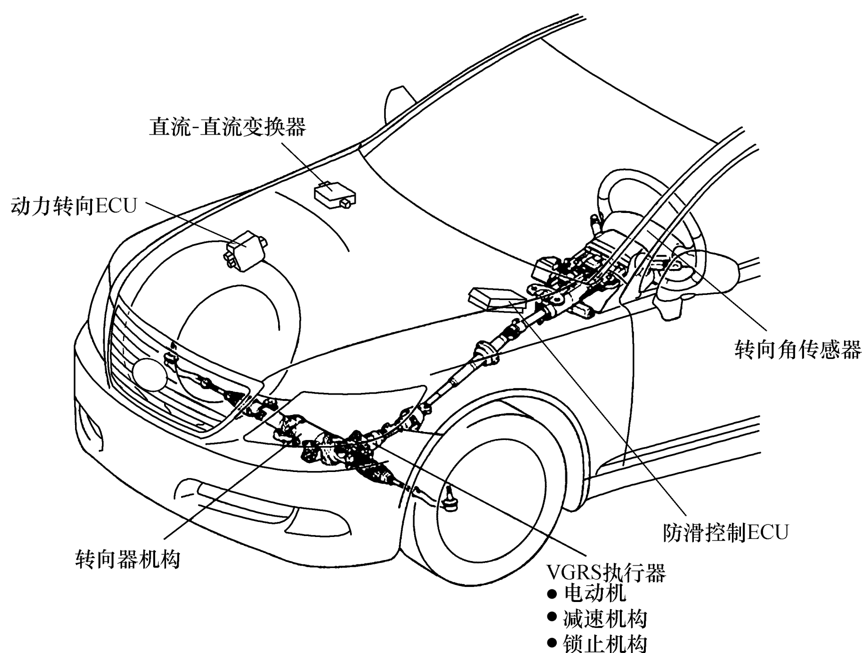


图 1-70　VGRS 主要部件位置分布

系统主要部件的功能见表 1-1。

表 1-1　VGRS 系统主要部件的功能

部件名称	功　　能
VGRS 执行器电动机	电动机转动以产生执行器的转动角度
VGRS 执行器减速机构	采用应变波形齿轮式减速机构，可按 1∶51 的传动比降低电动机的转速
VGRS 执行器锁止机构	锁止电动机轴以使电动机在系统存在故障时停止转动
多信息显示屏	显示“CHECK VGRS”以提示驾驶员系统存在故障
主警告灯	系统存在故障时亮起以警告驾驶员
蜂鸣器	系统存在故障时鸣响以警告驾驶员
转向角传感器	检测转向角度和转向盘的转动方向，并将其发送至转向控制 ECU
转向控制 ECU	根据转向角传感器和车速传感器发出的信号计算执行器的转动角度以操控 VGRS 电动机，并将 VGRS 执行器的转动角度输出到动力转向 ECU
动力转向 ECU	将转向辅助信号发送至转向控制 ECU
防滑控制 ECU	将车速信号输出到转向控制 ECU 将转向协调控制信号输出到转向控制 ECU
空气悬架控制 ECU	将减振器控制开关的控制模式位置信号（COMFORT、NORMAL、SPORT）输出到转向控制 ECU
行驶辅助 ECU	将预碰撞控制信号输出到转向控制 ECU

（2）主要部件的结构和工作原理

1）转向器机构。转向器机构由电动机、减速机构和转矩传感器组成。带 VGRS 系统的车型配备 VGRS 执行器，如图 1-71 所示。

电动机采用由 46V 电压驱动的高功率、无刷型电动机，结构与皇冠轿车的电动机相似。

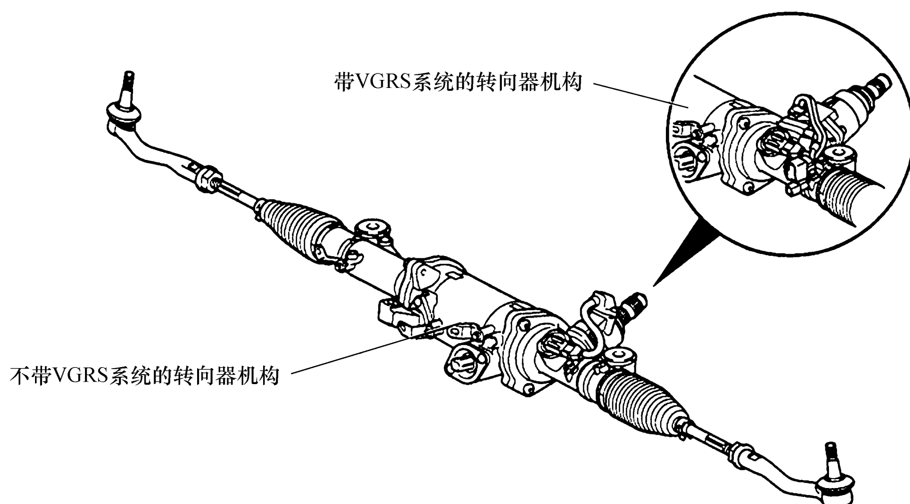


图 1-71 转向器机构

2）VGRS 系统图。VGRS 系统框图如图 1-72 所示。

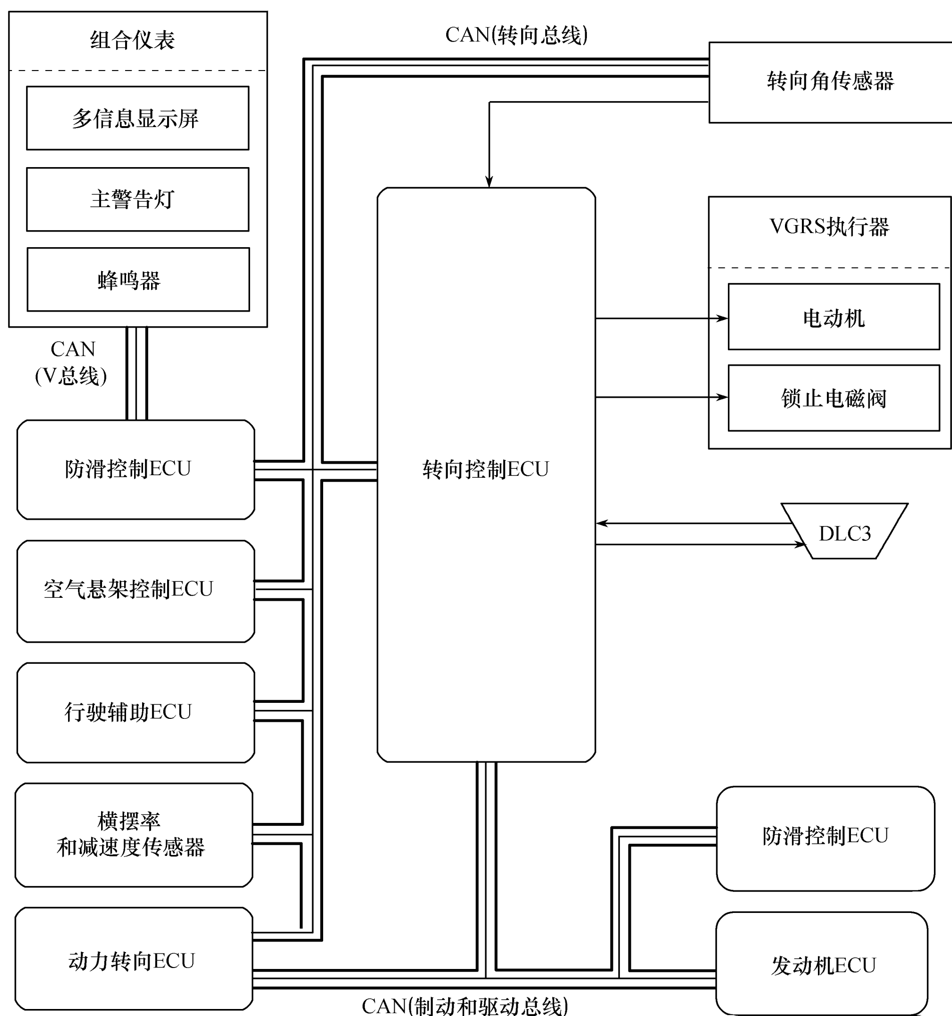


图 1-72 VGRS 系统框图

3）主要部件的结构和工作原理

① VGRS 执行器。VGRS 执行器与转向器机构组成一体。VGRS 执行器主要由壳体、电动机、减速机构、锁止机构和输出轴组成，如图 1-73 所示。

a. VGRS 电动机。采用紧凑无刷型电动机，提高了输出功率并降低了噪声。电动机密封在壳体内。

此电动机主要由磁铁、线圈和电动机轴组成。电动机轴与减速机构的波发生器相连以将电动机的转动传输到减速机构，如图 1-74 所示。

此电动机由转向控制 ECU 发出的信号控制，并根据转向盘的转动方向顺时针或逆时针旋转。通过转角传感器检测电动机的转动方向和转角。

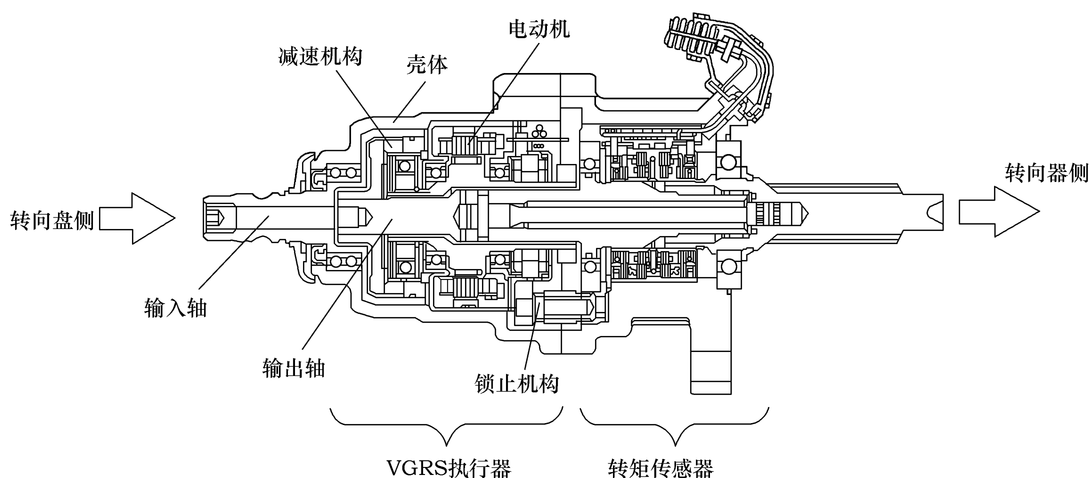


图 1-73　VGRS 执行器结构

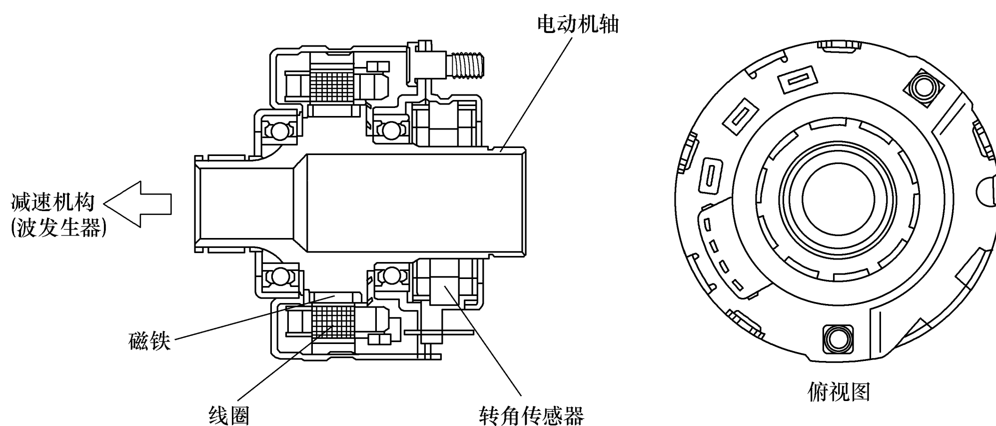


图 1-74　VGRS 电动机

b. VGRS 减速机构。采用应变波形齿轮式减速机构。此减速机构主要由输入环齿圈、输出环齿圈、挠性齿轮和波发生器组成。此减速机构可将传动比增大为 51∶1。

VGRS 减速机构主要部件的结构如图 1-75 所示，输出环齿圈（输出端）采用刚性内环齿圈，沿内周有 102 个齿。它与输入环齿圈平行，与 VGRS 执行器的输出轴相连。输入环

齿圈（输入端）也采用刚性内环齿圈，沿内周有 100 个齿。它与输出环齿圈同轴线平行排列，与 VGRS 执行器的输入轴相连。

挠性齿轮也称柔轮，采用带状的挠性金属壳体，沿外周有 100 个齿。它安装在波发生器的外侧，且其齿与输出环齿圈和输入环齿圈内啮合。

波发生器（电动机的输出端）是由椭圆形凸轮和凸轮周围的滚珠轴承组成。它与电动机轴相连，挠性齿轮内环表面与波发生器接触，挠性齿轮同时与输出环齿圈和输入环齿圈啮合。

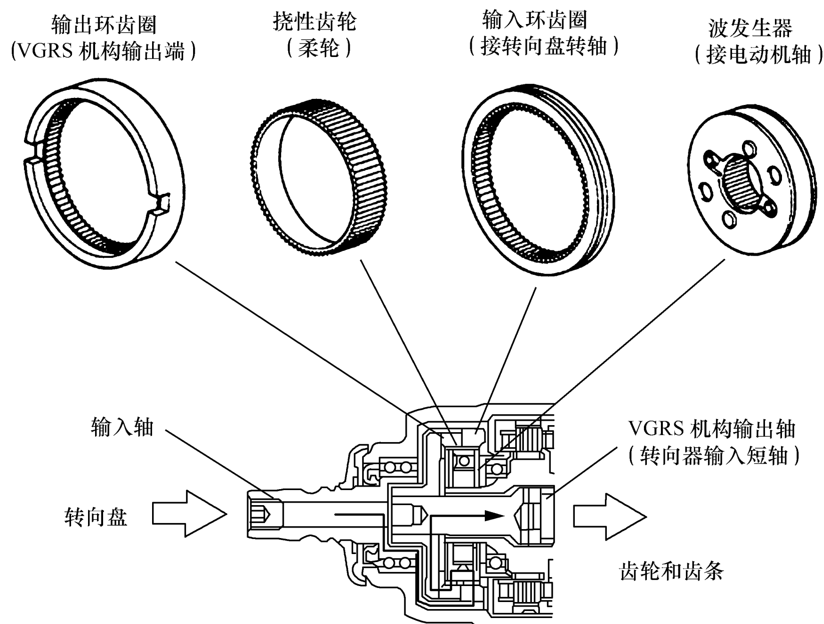


图 1-75 VGRS 减速机构

VGRS 减速机构的工作原理：

VGRS 减速机构各部件的装配位置关系如图 1-76 所示，挠性齿轮安装在输入环齿圈和输出环齿圈内侧，波发生器安装在挠性齿轮内侧。波发生器使挠性齿轮变成椭圆形。椭圆形长轴上的齿同时与输入环齿圈和输出环齿圈上的齿啮合，而短轴上的齿则与输入、输出齿圈脱开。

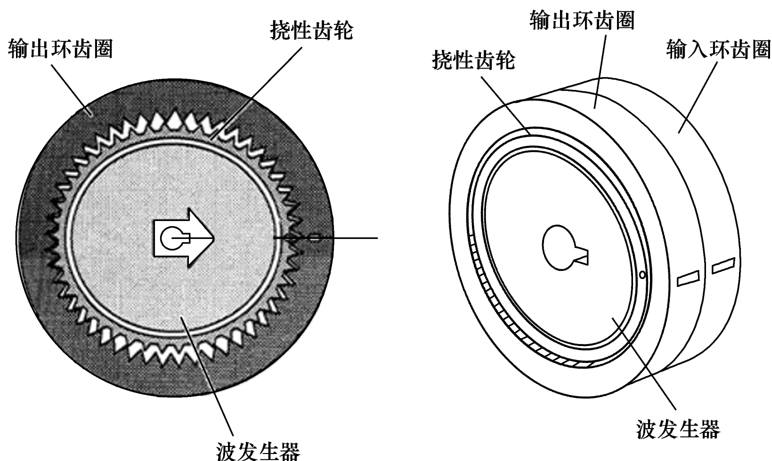


图 1-76 VGRS 减速机构各部件的装配位置关系

下面分几种情况分析这种机构的一般工作原理。

为便于理解，先假设将图 1-76 中的输出环齿圈（102 齿）固定不动，输入环齿圈（100 齿）作为输出的话，那么如图 1-77、图 1-78 所示，电动机带动波发生器顺时针转动，波发生器推动挠性齿轮使其变为椭圆，使长轴两端附近的齿进入啮合状态，短轴附近的齿则脱开，其余不同区段上的齿处于逐渐啮合状态或逐渐脱开状态。波发生器连续转动时，挠性齿轮的变形部位也随之转动，使轮齿依次进入啮合，然后又依次退出啮合，从而实现啮合传动。因为挠性齿轮比固定不动的环齿圈少 2 个齿，所以波发生器转动一周时，挠性齿轮逆时针转过 2 个齿，又因作为输出件的环齿圈与挠性齿轮的齿数相等，因此它们的转动也相同。环齿圈（输出）也逆时针转过 2 个齿，即逆时针转了 1/50 圈，传动比为-50。这种传动方式曾用在 LX470 的 VGRS 装置中。

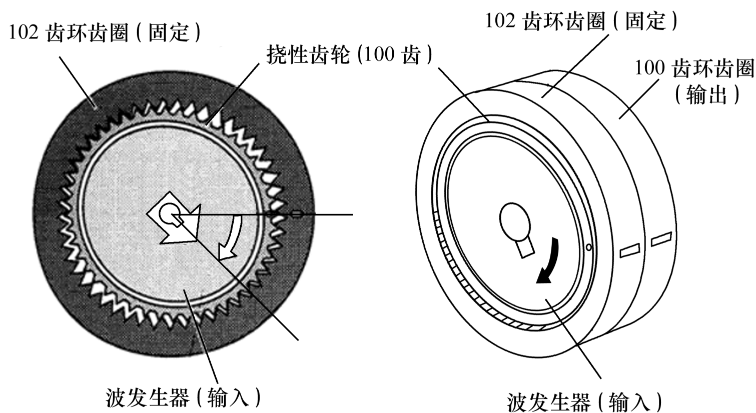


图 1-77　应变波形齿轮式减速机构的一般工作原理（初始位置）波发生器输入、102 齿环齿圈固定、100 齿环齿圈输出时的初始位置

反之，将图 1-77、图 1-78 中的 100 齿环齿圈固定不动，102 齿环齿圈作为输出的话，那么电动机带动波发生器顺时针转动时，由于 100 齿环齿圈固定，挠性齿轮的齿数也为 100，故挠性齿轮只变形而不再转动，102 齿环齿圈就顺时针转过 2 个齿，即 2/102 圈，故传动比为＋51。我们将此机构简化为图 1-79 所示的示意图，示意图的上半部分按波发生器椭圆的长轴方向展开，示意图的下半部分按波发生器椭圆的短轴方向展开。

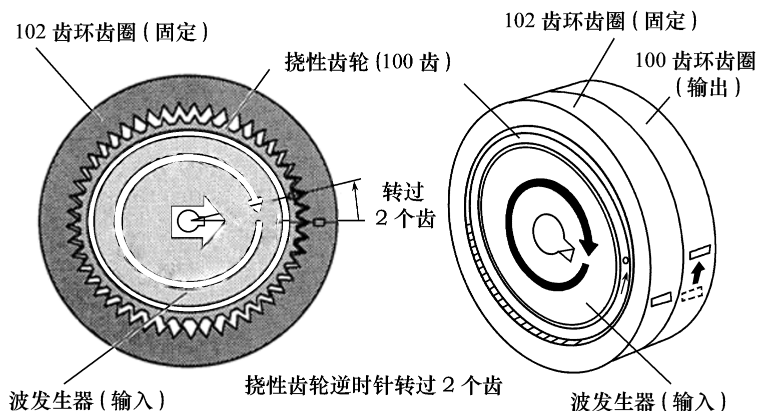


图 1-78　应变波形齿轮式减速机构的一般工作原理（波发生器转动一圈后）波发生器输入、102 齿环齿圈固定、100 齿环齿圈输出的情况下，波发生器转动一圈后

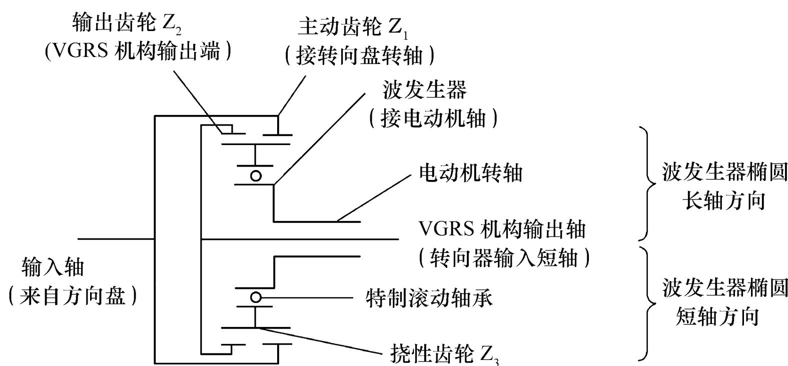


图 1-79 VGRS 减速机构传动示意图

用机械传动原理进行分析可知，此机构的运动特性方程式为：

$$n_1-\beta n_2-(1-\beta)n_3=0$$

式中 n_1——输入端环齿圈转速；

n_2——输出端环齿圈转速；

n_3——波发生器转速；

β——齿数比；$\beta=\frac{z_2}{z_1}$，其中 z_1 为输入端环齿圈齿数，z_2 为输出端环齿圈齿数。

在这里，$z_1=100$，$z_2=102$，$\beta=\frac{51}{50}$，如果波发生器不转动，则转向盘的输入经 VGRS 减速机构做了轻微的减速后输出，$n_2=\frac{50}{51}n_1$。可将前述的 VGRS 机构运动特性方程式变换为：

$$n_2=\frac{50}{51}n_1+\frac{1}{51}n_3$$

显然可用转角来代替转速，即：

$$\theta_2=\frac{50}{51}\theta_1+\frac{1}{51}\theta_3$$

式中 θ_1——转向盘转角；

θ_2——转向器小齿轮驱动短轴的转角；

θ_3——波发生器转角。

由于$\frac{50}{51}\theta_1$ 是波发生器不转动时转向盘的输入经减速传至转向器小齿轮驱动短轴的转角，$\frac{1}{51}\theta_3$ 是当转向盘不动时波发生器按传动比为 51 进行减速传动后的角度，故转向器小齿轮驱动短轴的最终转角是转向盘转角与波发生器转角的叠加。当波发生器电动机转动方向与驾驶员操纵的转向盘转动方向相同时，转向器小齿轮驱动短轴的最终转角将比单纯操作转向盘时转过的角度大，即转向车轮的偏转角度也增大；当波发生器电动机转动方向与驾驶员操纵的转向盘转动方向相反时，转向器驱动小齿轮轴的最终转角将比单纯操作转向盘时转过的角度小，即转向车轮的偏转角度也减小。

雷克萨斯 LS460 轿车的 VGRS 减速机构各部件的装配位置关系如图 1-80 所示。

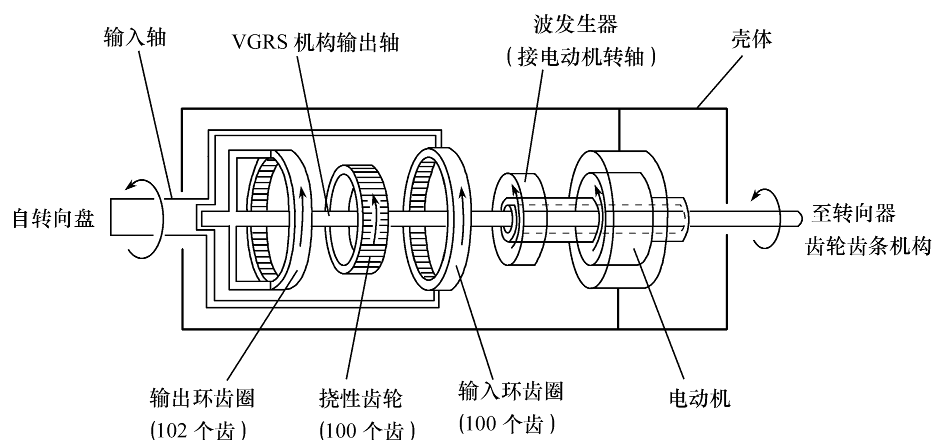


图 1-80　雷克萨斯 LS460 轿车的 VGRS 减速机构各部件的装配位置关系示意图

VGRS 系统还包括可机械锁止电动机的锁止机构，发生故障时电动机将不再转动。壳体和输出轴组成一体。

锁止机构安装在电动机上，主要由固定在电动机轴上的锁架、安装在壳体上的锁杆和使锁杆工作的电磁阀组成，如图 1-81 所示。

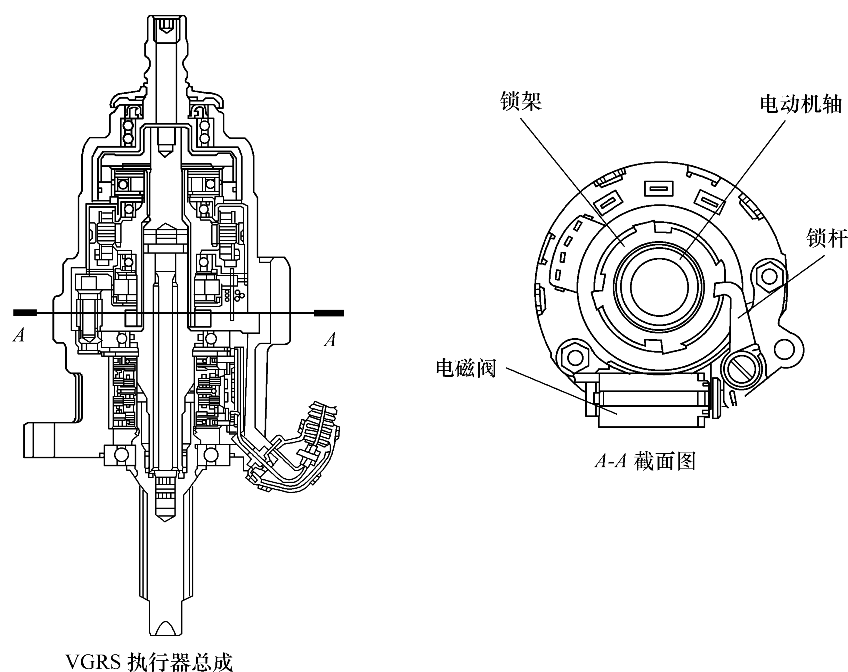


图 1-81　VGRS 电动机锁止机构

锁止机构激活时，转向控制 ECU 切断至电磁阀的电流，且回位弹簧推动锁杆与锁架接触。然后，锁杆与锁架上的凹槽啮合以锁止电动机。锁止解除时，转向控制 ECU 接通至电磁阀的电流，从而使锁杆与锁架脱开并使电动机运转，如图 1-82 所示。

转向传动比可变控制原理：

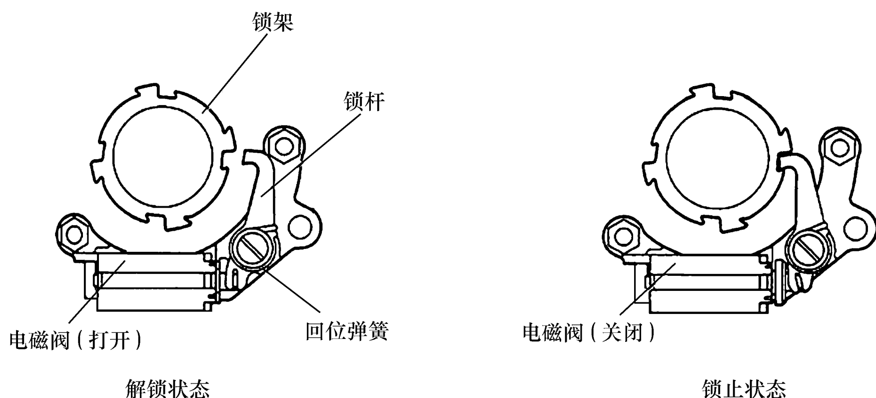


图 1-82 VGRS 电动机锁止机构的工作原理

a. 低速和中速范围。此系统使 VGRS 执行器在低速范围（需要减小对转向盘施加的力）或中速范围（需要车辆响应灵敏地正向转动）。

例如，如果驾驶员顺时针转动转向盘（即右转向），则转矩的传输如图 1-83 所示。为生成由转向控制 ECU 确定的执行器目标转动角度，VGRS 执行器内的电动机顺时针转动。然后电动机的转动通过波发生器输入到减速机构内。传动比为 1∶51，并按顺时针方向从输出轴输出。VGRS 执行器的转动角度与转向盘转角输入效果叠加在一起。因此，输出轴顺时针转动角度减去转向盘转角即为 VGRS 执行器的转动角度。这样，前轮偏向右转动。

b. 高速范围。在高速范围内（车辆反应无需过度灵敏），此系统的 VGRS 执行器反向轻微转动。

例如，如果驾驶员顺时针转动转向盘，则转矩的传输如图 1-84 所示。为生成由转向控制 ECU 确定的执行器目标转动角度，VGRS 执行器内的电动机逆时针转动。然后，电动机的转动通过波发生器输入到减速机构内。传动比为 1∶51，并按逆时针方向从输出轴输出。从转向盘转角减去 VGRS 执行器的转动角度。因此，转向盘转角减去输出轴顺时针转动角度即为 VGRS 执行器的转动角度。这样，前轮偏向右转动。

VGRS 执行器反向转动的角度不会超过转向盘转角。

② 转向控制 ECU。转向控制 ECU 根据从防滑控制 ECU 得到的车速信号、由转向盘转角传感器信号获得的转向盘转角、转动方向信号在转向控制 ECU 中选择 VGRS 执行器转动角度数据。转向控制 ECU 根据以上信息控制 VGRS 执行器以获得合适的执行器目标转动角度。

转向控制 ECU 将所需的 VGRS 执行器的中间位置存储在存储器内。从而，转向控制 ECU 以中间为参考进行控制。而且，转向控制 ECU 持续地将 VGRS 执行器的转动角度存储在存储器内。断开蓄电池端子，存储器内的数据也不会清除。

转向控制 ECU 和防滑控制 ECU 进行协调控制，以根据接收的防滑控制 ECU 的信息控制转向齿轮，可使驾驶员轻松进行转向操作，从而实现极佳的车辆稳定性。

转向控制 ECU 根据悬架控制 ECU 发出的控制模式信号（COMFORT、NORMAL 和 SPORT）改变转向传动比，以优化车辆稳定性和灵敏性。但是，在 COMFORT 和 NORMAL 模式下，可使用相同的转向传动比控制。

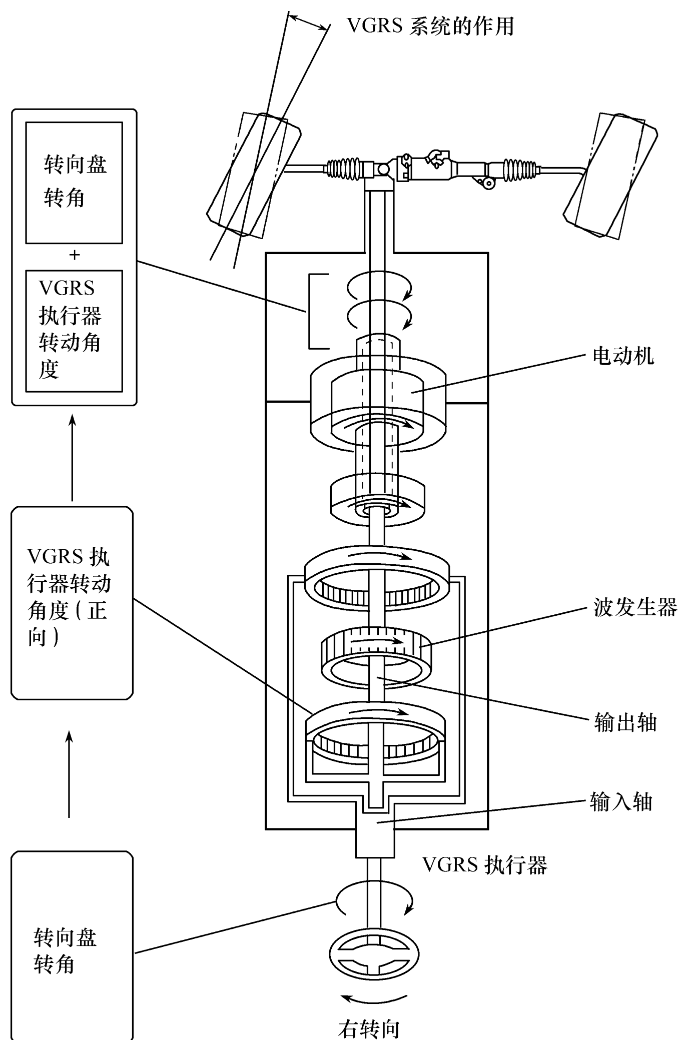


图 1-83　VGRS 转向传动比可变控制原理（低、中速时）

转向控制 ECU 根据行驶辅助 ECU 发出的预碰撞控制信号改变转向传动比以确保车辆的灵敏性。

如果转向控制 ECU 检测到 VGRS 系统存在故障，则会采取失效保护控制。转向控制 ECU 内置有温度传感器，在过热时也会进行失效保护控制。另外，此 ECU 监视电动机工作电压的变化以检测电动机的过热情况。

当系统检测到转向角传感器故障、电动机故障、转向控制 ECU 故障、电动机电路故障、锁止机构电路故障、车速信号故障、防滑控制 ECU 通信信号故障时，系统将点亮主警告灯，多信息显示屏显示“CHECK VGRS”，蜂鸣器鸣响一次。当检测到电动机过热、转向控制 ECU 过热、PIG 电源电压故障时，系统首先停止控制；当系统恢复正常后恢复正常控制，此时主警告灯不亮，多信息显示屏不显示“CHECK VGRS”。当 VGRS 电控系统发生故障时，可使用智能检测仪Ⅱ读取 DTC。DTC 可显示在组合仪表的多信息显示屏上。

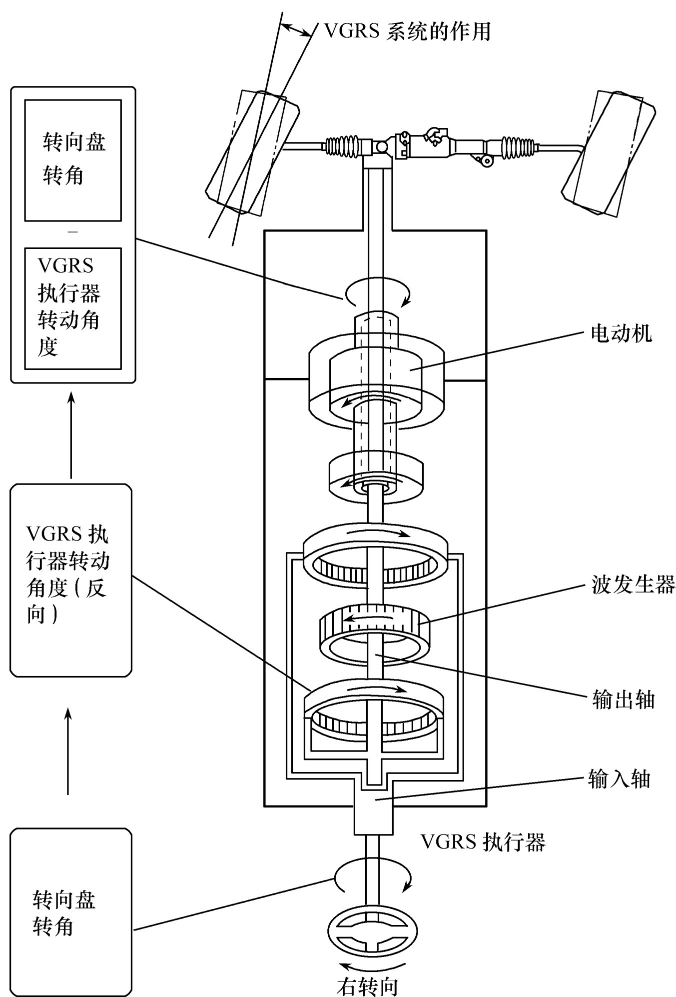


图 1-84 VGRS 转向传动比可变控制原理（高速时）

（二）液压动力转向系统的检查与调整

（1）动力转向系统油液量的检查与排气　起动发动机，直到油液温度达到 77℃时，关闭发动机，保持储液罐充满油液。把转向盘打到最左端，再到最右端，使转向油液循环，继续添加油液直到充满储液罐。

再次起动发动机，使其高速运转，观察油液在油尺上的位置。若需要，则添加油液。左、右转动转向盘，但不要转到极限位置，这样可把系统中空气排除。混有空气的油液呈乳白色。保持油箱中充满油液。

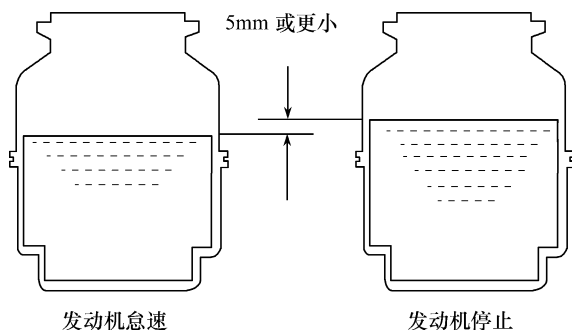


图 1-85 动力转向油液液面高度检查

回转转向盘使前轮对正前方，发动机继续运转 2～3min，然后关闭发动机。在系统稳定在正常工作温度条件下时观察液面，熄火前、后的动力转向油液液面高度差应不大于 5mm，如图 1-85 所示。液面的

微小变化，是由于助力泵与转向器之间的高压软管在压力上升时轻微膨胀造成的。液面检查完毕后，按规定拧紧加注口盖，否则将导致泄露。

（2）液压泵驱动带张紧度的检查　用规定压力按压驱动带中央部位，检查驱动带的弯曲挠度是否符合规定，若不符合规定，应进行调整。如果带张紧不足，则带与带轮间要产生滑动，使油压下降，导致转向沉重；另一方面，如果带张紧过大，将使液压泵轴承损坏。

（3）流量控制阀的检查　如图 1-86 所示为流量控制阀检查，应保证其能在泵壳、泵体孔内滑动自如。用压缩空气进行泄漏检查，不得泄漏。流量控制阀只能作为一总成来维修，不能对它解体。检查流量控制阀弹簧的自由长度，应符合原厂规定。

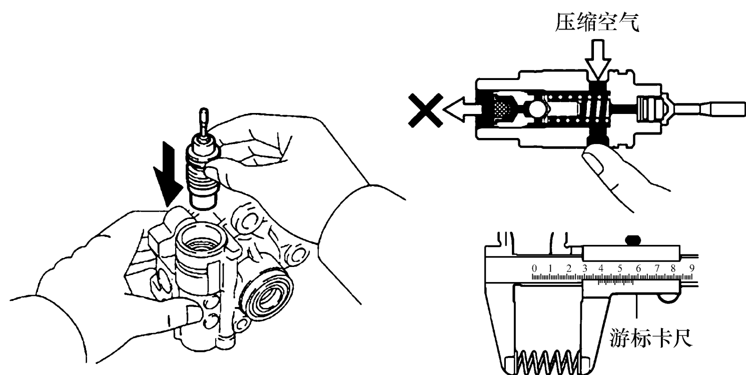


图 1-86　流量控制阀的检查

（4）泵轴的检查　泵轴花键是否有磨损、裂纹和其他损伤。

（5）转子与叶片间隙的检查　如图 1-87 所示，用塞尺检查转子与叶片的间隙。使用极限为 0.03mm，超过极限时应先更换泵总成。

（6）动力转向系统油压检查　如图 1-88 所示，在发动机下面放好集油盘，在泵端或转向器端（最方便处），拆下与液压泵相连的高压油管，把压力表连接到压力软管上，压力表另一端通过软管连接到转向器上，把检测阀接在液压泵与转向器之间，逆时针转动检测阀，使其完全开启。如图 1-89 所示，起动发动机，使液压油达到正常工作温度（约 77℃）。在发动机怠速运转条件下，不转动转向盘时，测量到的压力应小于 862kPa。若压力高于 862kPa，应检查软管是否有堵塞。初始压力一般应为 345～552kPa，否则需要维修。

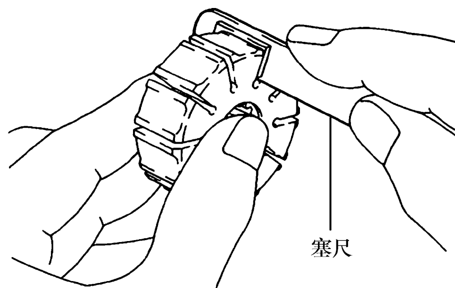


图 1-87　转向助力液压泵转子与叶片间隙的检查

如图 1-90 所示检测液压泵最大输出压力和流量控制阀的工作状况。完全关闭油压表上的检测阀，然后迅速打开，此过程重复进行三次，每次关闭检测阀的时间不能超过 5s，否则将损坏液压泵。记录下每次检测阀关闭时压力表指示的最高压力。

比较这些压力值，若三次压力指示值变化范围在 345kPa 以内，则说明液压泵工作正常。最高压力应为 1000±345kPa。若最高压力超出了限制范围，而且三次压力值变化范围超出 345kPa，则说明流量控制阀工作不正常；应卸下并清洗，用细纱布、细砂纸打磨。若

系统被污染，则冲洗整个系统。

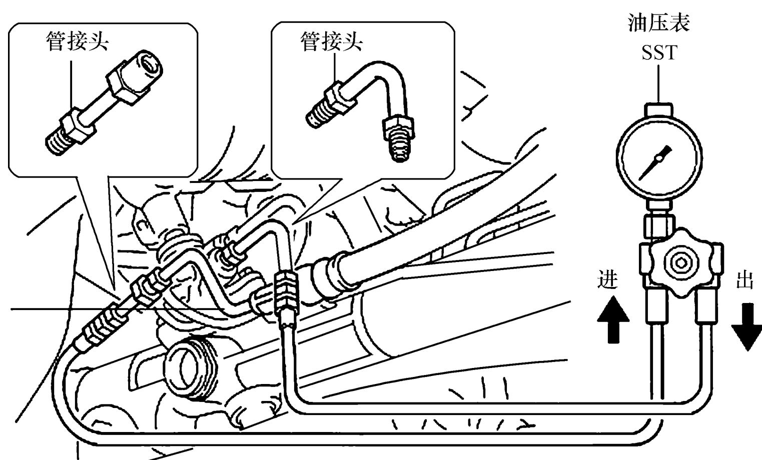


图 1-88 动力转向系统油压检查（油压表的连接）

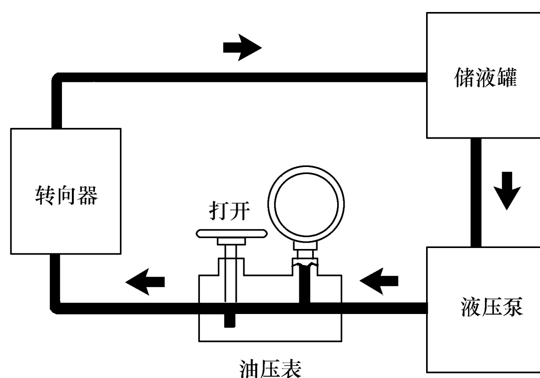


图 1-89 动力转向系统不转动转向盘时初始油压的检查

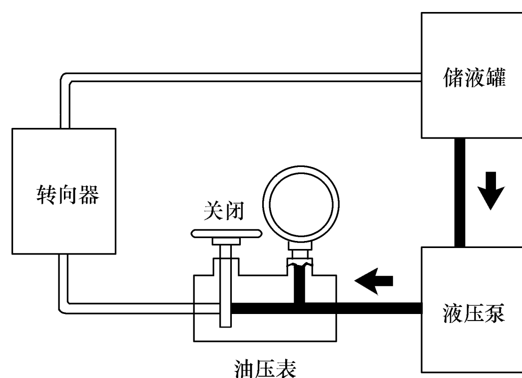


图 1-90 动力转向系统最大输出油压的检查

若三次压力值在规定范围，但压力值低于规定最大值，则表明液压泵有故障，应更换液压泵。

若液压泵工作正常，则可检测转向器是否有泄露。如图 1-91 所示，开启检测阀，转动转向盘到左、右极限位置，强迫液压泵在极限位置工作，分别记录在左、右极限位置时的最高压力值。用此值与前面测量的最高压力值进行比较，若在任何一极限位置不能重复液压泵最高输出压力值，则说明转向器内部有泄露，应解体修理转向器。

以上各数值仅供参考，具体数值以该车维修手册为准。

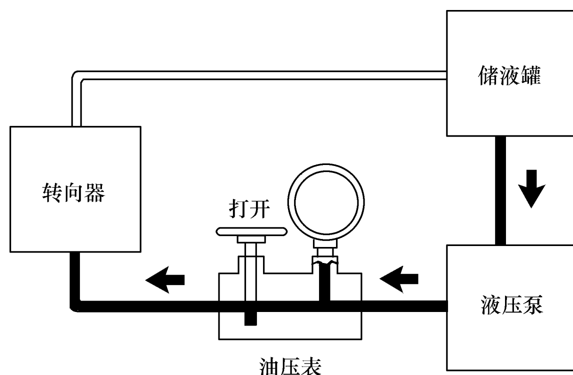


图 1-91 转向盘转至极限位置输出油压的检查

（三）悬架结构与行车高度

1. 悬架系统概述

悬架是车架（或车身）与车桥（或车轮）之间一切传力装置的总称。

传统式悬架的功用是把作用于车轮上的垂直反力（支承力）、纵向反力（牵引力和制动力）、侧向反力以及这些反力所造成的力矩都传到车架（或车身）上，在保证汽车正常稳定行驶的同时，改善汽车行驶的平顺性。

汽车传统式悬架尽管有各种不同的结构形式，但是一般都由弹性元件（如钢板弹簧、螺旋弹簧、扭杆弹簧等）、减振器和导向机构三部分组成。有些轿车和大客车为了防止汽车在转向行驶等情况下车身发生过大的横向倾斜，在悬架中还设置了横向稳定器。

汽车悬架按导向机构的形式可分为两大类：非独立悬架和独立悬架。

非独立悬架的结构特点是两侧的车轮安装在一根整体式车桥上，车轮连同车桥一起通过弹性悬架与车架（或车身）连接。当一侧车轮因道路不平而跳动时，必然引起另一侧车轮在汽车横向平面内摆动，因此称为非独立悬架。

独立悬架的结构特点是两侧车轮分别安装在断开式车轴的两端，每一侧的车轮可以单独地通过弹性悬架与车架（或车身）连接。当一侧车轮跳动时，对另一侧车轮不产生影响，故称为独立悬架。

独立悬架的优点：

1）在悬架弹性组件一定的变形范围内，两侧车轮可以单独运动而互不影响，减少车架和车身的振动，有助于消除转向轮偏摆。

2）减少了汽车的非簧载质量。在非独立悬架的情况下，整个车桥和车轮都属于非簧载质量部分。

在用独立悬架时，非簧载质量只包括车轮质量和悬架系统中一部分零件的全部或部分质量，显然比用非独立悬架时的非簧载质量要小得多。在道路条件和车速相同时，非簧载质量越小，则悬架所受到的冲击载荷也越小。因此采用独立悬架可以提高汽车的平均行驶速度。

3）采用断开式车桥，汽车重心下降，提高了汽车行驶稳定性。车轮运动的空间较大，悬架刚度较小，降低车身振动频率，改善了行驶平顺性。

但是，独立悬架结构复杂，制造成本高；保养维修不便；在一般情况下，车轮跳动时，由于车轮倾角与轮距变化较大，轮胎磨损较严重。

独立悬架的结构类型很多，主要可按车轮运动形式分成以下三类：车轮在汽车横向平面内摆动的悬架，称为横臂式独立悬架，其结构示意图如图 1-92a 所示；车轮在汽车纵向平面内摆动的悬架，称为纵臂式独立悬架，其结构示意图如图 1-92b 所示；车轮沿主销移动的悬架，包括烛式悬架和麦弗逊式悬架，其结构示意图如图 1-92c 与图 1-92d 所示。

横臂式独立悬架分为单横臂式和双横臂式两种。双横臂式独立悬架的两个摆臂长度可以相等，也可以不等。两摆臂等长的悬架，当车轮上下跳动时，车轮平面没有倾斜，但轮距却发生很大的变化，这就增加了车轮侧向滑移的可能性。摆臂不等长的双横臂式独立悬架中，若将两臂长度选择适当，可以使车轮和主销的角度以及轮距的变化都不大（如图 1-93 所示），这样的轮距变化可以由较软的轮胎变形来适应。目前轿车的轮胎可容许轮距的改变在每个车轮上达到 4～5mm 而不会使车轮沿路面滑移，故这种独立悬架在轿车的前轮上应用

得较广泛。如图 1-94 所示结构为本田雅阁轿车的前悬架，即是不等摆臂长双横臂式独立悬架。

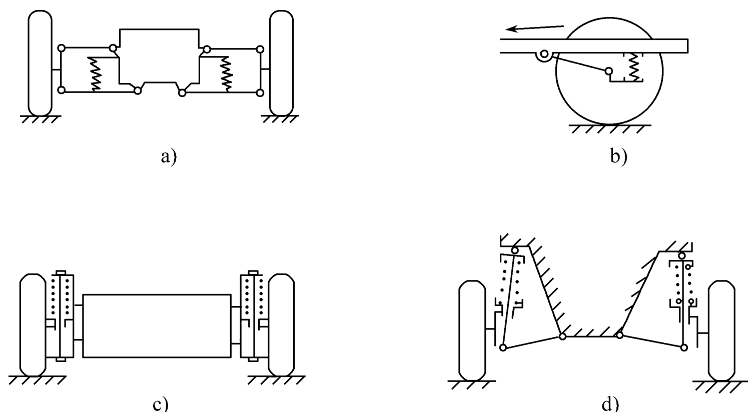


图 1-92 独立悬架基本类型示意图

a）横臂式独立悬架 b）纵臂式独立悬架 c）烛式悬架 d）麦弗逊式悬架

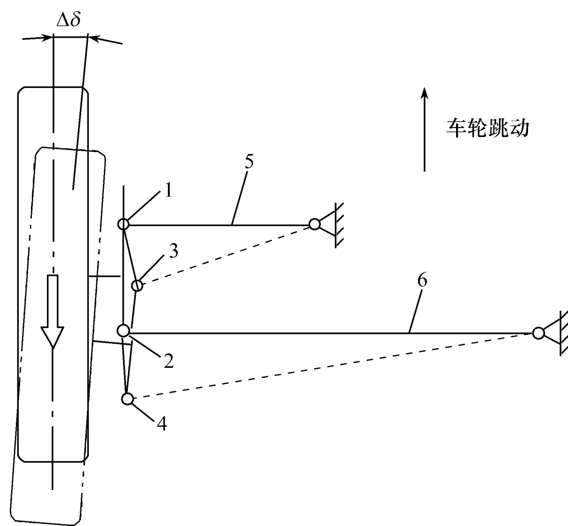


图 1-93 不等摆臂长双横臂式独立悬架的结构示意图

1、3—上球头位置 2、4—下球头位置 5—上摆臂 6—下摆臂

Δδ—车轮外倾角变化量

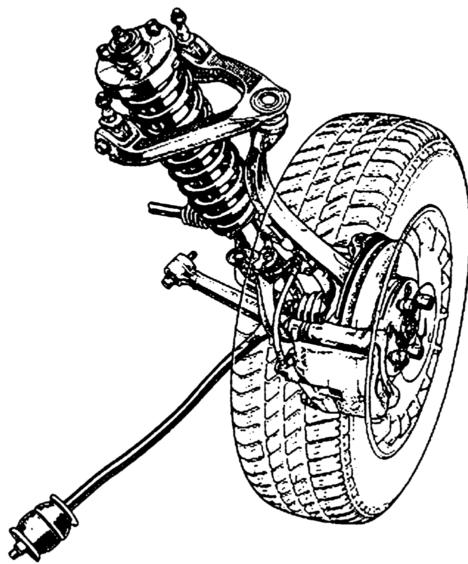


图 1-94 本田雅阁轿车的前悬架

双横臂式独立悬架采用球头结构代替主销，属于无主销式，即上、下球头销的连心线相当于主销轴线，转向时车轮即围绕此轴线偏转。

一般说来，双横臂式独立悬架主销内倾角和车轮外倾角的关系已被转向节的结构所确定，故调整车轮外倾角以后，主销内倾角自然正确。

纵臂式独立悬架有单纵臂式和双纵臂式两种。单纵臂式独立悬架在车轮上下跳动将使主销后倾角产生很大变化，故转向轮不采用单纵臂式独立悬架。双纵臂式独立悬架的两个纵臂长度一般做成相等，形成平行四连杆机构。这样，当车轮上下跳动时，车轮外倾角、轮距和主销后倾角保持不变，故这种形式的悬架可适用于转向轮。

车轮沿主销移动的独立悬架有烛式悬架和麦弗逊式悬架。车轮沿固定不动的主销轴线上下移动的独立悬架称烛式独立悬架。对于转向轮来说，当悬架变形时，主销的定位角不会发生变化，仅轮距、轴距稍有改变，故有利于汽车的转向操纵和行驶稳定性。但是，侧向力全部由套在主销上的长套筒和主销承受，因此套筒与主销之间的摩擦阻力大，磨损严重。车轮沿摆动的主销轴线移动的独立悬架称麦弗逊式悬架，这种悬架的优点是整体结构简单，增大了前轮内侧的空间，便于发动机及其他机件的布置，维修方便，并具有行驶平稳、转弯半径小、附着性及操纵稳定好等特点。车轮与车身之间由螺旋弹簧、减振器及下摆臂等传力，分散了悬架的受力点，使每个受力点（支承点）上所承受的载荷相对减小。但其隔声较为困难。

前轮驱动车辆的后悬架常采用纵臂转矩梁式半独立悬架。如图 1-95 所示为丰田 2008 款卡罗拉轿车的后悬架。它采用轻便、紧凑和高刚性的转矩梁式悬架，并对纵臂衬套的特性、悬架几何结构进行了优化，以实现良好的行驶稳定性和乘坐舒适性。

当车辆在千斤顶上升起时，务必使用车身上的顶起点。切勿在转矩梁、弹簧座、纵臂或后悬架的衬套下面使用千斤顶。

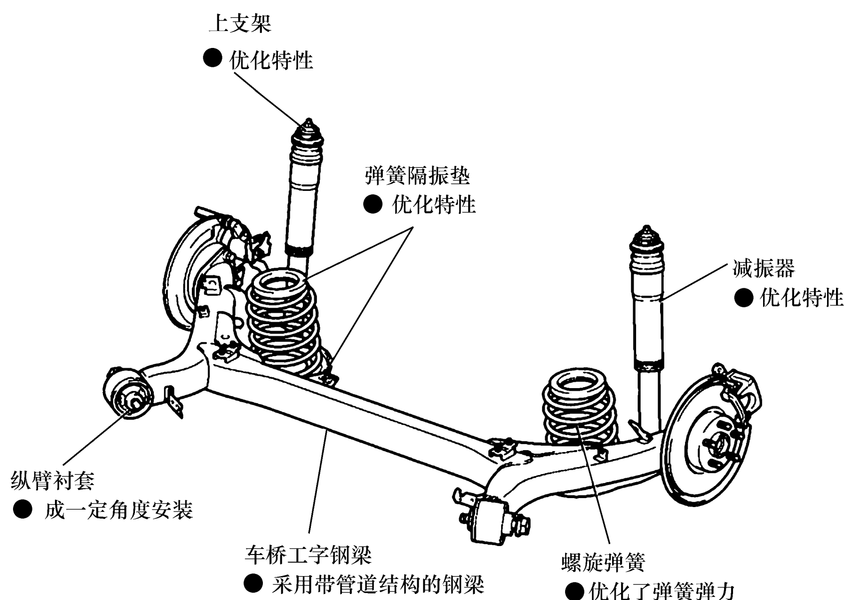


图 1-95　丰田 2008 款卡罗拉轿车的转矩梁式后悬架

后悬架常见的结构型式还有五连杆式和麦弗逊滑柱式。五连杆式后悬架如本田雅阁轿车（图 1-96）、宝马 E90 车系（图 1-97、图 1-98）。

以上是从导向机构的结构形式来分的，如果从弹性元件的类型来分主要有钢板弹簧非独立悬架、螺旋弹簧悬架、扭杆弹簧悬架、空气弹簧悬架、油气弹簧悬架等。图 1-99 为雷克萨斯 LS460 轿车的一些车型上采用的螺旋弹簧双横臂式前悬架，由图中可以看出，其上、下臂均分为两根，采用双球头铰接，其作用与优点参见后述内容。图 1-100 为雷克萨斯 LS460 轿车选装的空气弹簧双横臂式前悬架。

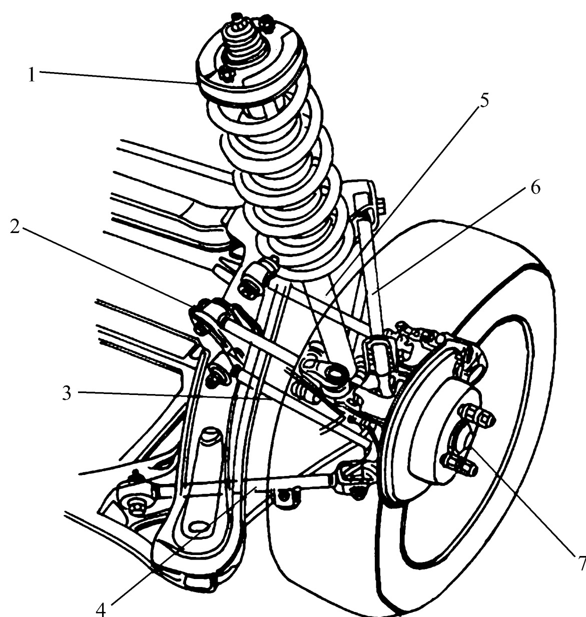


图 1-96 本田雅阁轿车五连杆式后悬架系统

1—后减振器 2—上横臂 3—下横臂 4—拖臂 5—控制臂 6—后置定位臂 7—轮毂轴承装置

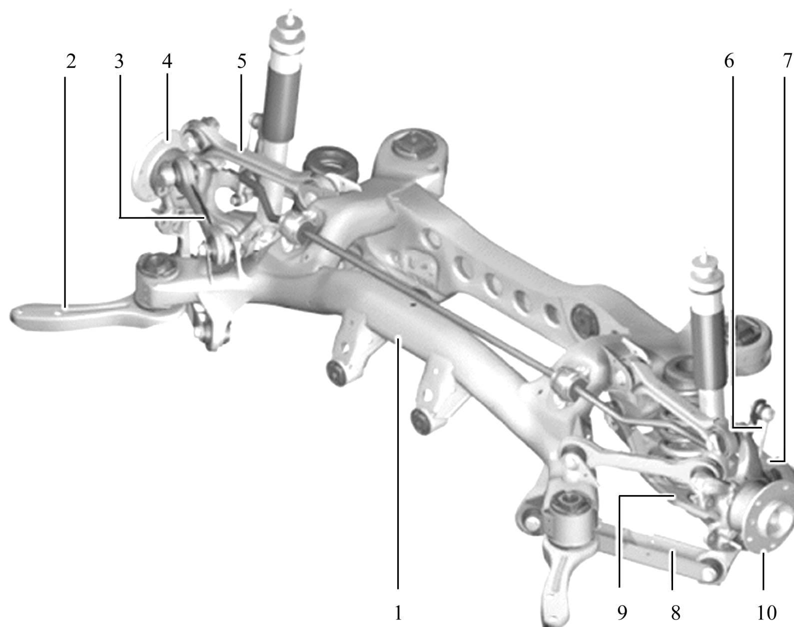


图 1-97 宝马 E90 底盘五连杆式后悬架

1—后桥托架 2—推力杆 3—导向臂 4—轮毂 5—横摆臂 6—稳定杆连杆 7—前束控制臂 8—纵摆臂 9—外倾控制臂 10—轮毂

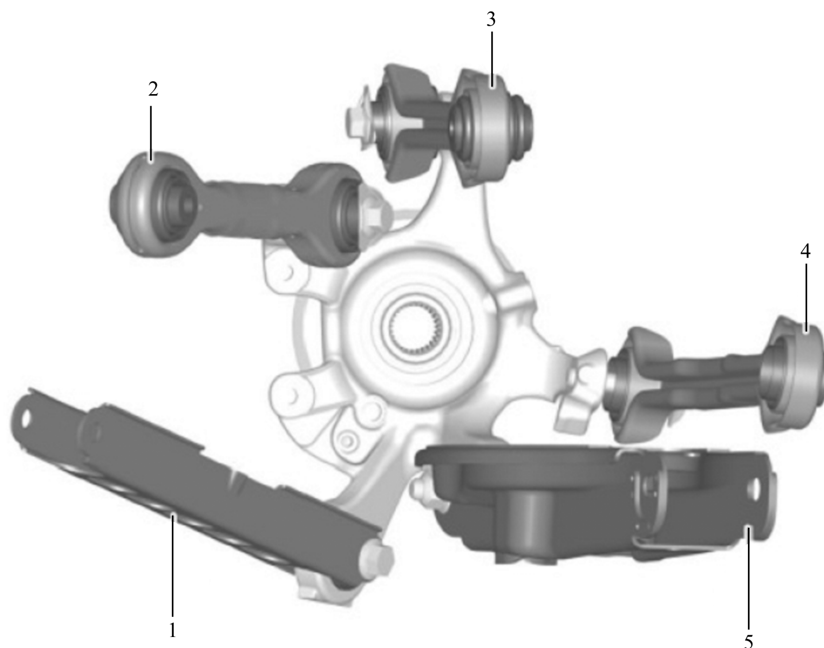


图 1-98　宝马 E90 底盘后悬架五连杆与后转向节（车轮托架）的连接
1—纵摆臂　2—导向臂　3—横摆臂　4—前束控制臂　5—外倾控制臂

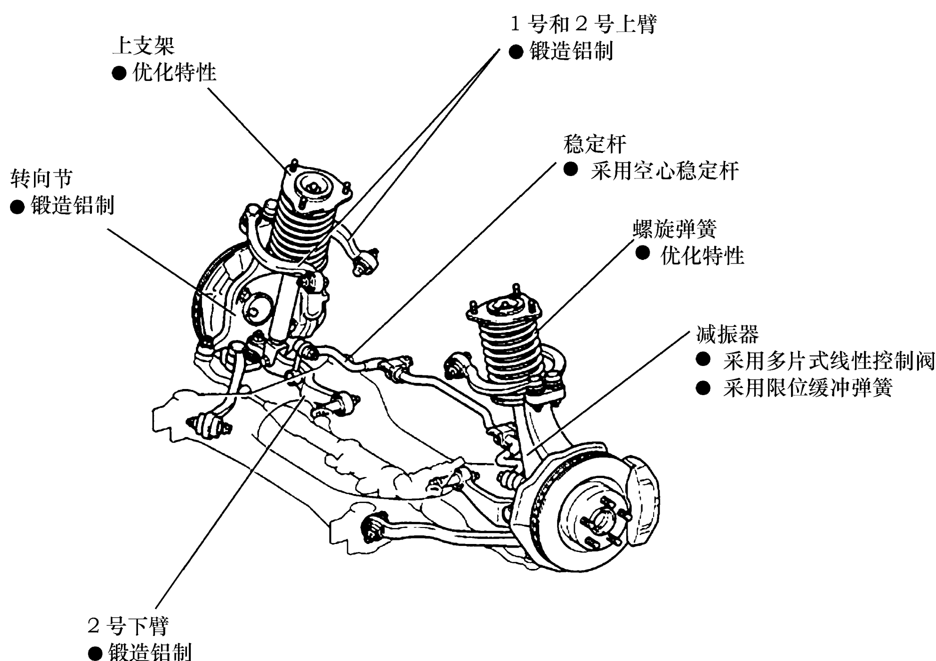


图 1-99　雷克萨斯 LS460 带螺旋弹簧式双横臂式前悬架的车型

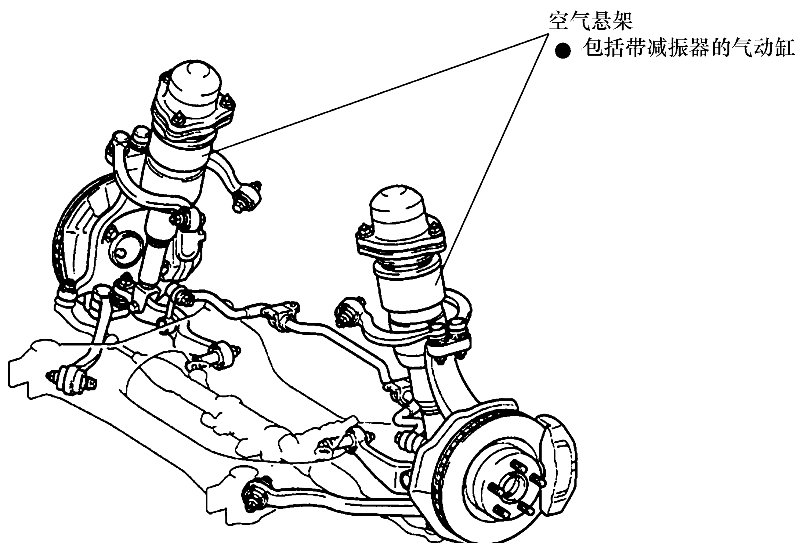


图 1-100　雷克萨斯 LS460 轿车带空气弹簧悬架的车型

如果从控制的角度来分，汽车悬架可分为被动悬架、半主动悬架、主动悬架。传统的悬架是由钢板弹簧或螺旋弹簧和减振器组成的机械式悬架系统，系统各元件的特性不可调整，只能被动地吸收能量、缓和冲击，因而它属于被动悬架。

半主动悬架仅对减振器的阻尼力进行调节，有些也对横向稳定器的刚度进行调节，调节的方式有机械式的和电子控制式的，常见的为电子控制式的。这种调节几乎不需要能量，因此系统中不需要能源，即系统是无源的。主动悬架能根据行驶条件和运行状况，随时对悬架系统的刚度、减振器的阻尼力以及车身的高度和姿态进行调节，调节的方式一般是电子控制的。这种调节需要消耗能量，所以系统中需要采用空气压缩机或液压泵等提供动力，即系统是有源的。

主动悬架和大多数半主动悬架采用了传感器获取汽车行驶条件和运行状况的信号，由悬架 ECU（又称为悬架电脑或计算机）经过计算后发出控制信号，驱动执行器工作来调节减振器的阻尼力，或者也调节悬架刚度和车身高度，以便满足各种情况下对汽车行驶平顺性和操纵稳定性的要求。采用这种控制原理的悬架系统，称为电子控制悬架系统。

电子控制悬架系统的控制内容主要有车身高度控制、减振器阻尼力控制、弹簧弹性系数控制。车身高度控制可以使汽车根据车内乘员或车辆载质量情况，调整汽车车身高度，使其保持某一恒定的高度值；当汽车在坏的道路上行使时，可以使车身高度增加，提高汽车的通过性；当汽车高速行驶时，又可以使车身高度降低，以减小空气阻力，提高操纵稳定性；当点火开关断开，汽车处于驻车状态，因乘客和行李减少使车身高度发生变化时，该功能可以使车身高度降低，保持良好的驻车姿态。减振器阻尼力控制功能通过控制减振器阻尼力（减振力），使汽车在急转弯、急加速和紧急制动时，防止后坐、侧倾和点头等，抑制汽车姿态的变化，提高汽车的操纵稳定性。弹簧弹性系数控制功能通过改变弹簧弹性系数的办法，来改变悬架的刚度。按照汽车实际使用目的，可以分为运动型和舒适型两种控制模式。

2. LS460L/460 轿车电子控制空气悬架系统

新款 LS460L/460 轿车的选装的空气悬架系统即是一个半主动空气悬架系统。该系统沿用了旧款 LS430 中的半主动控制（非线性“H”控制），因此实现了良好的操控性和稳定性。

LS460L/460 电子控制空气悬架系统主要由悬架控制执行器、高度控制继电器、前后高度控制阀、压缩机和除湿器总成、排气阀、高度控制传感器、前加速度传感器、后加速度传感器、高度控制连接器、转向角传感器、横摆率和减速度传感器、高度控制开关、减振模式选择开关、高度控制指示灯、减振器控制指示灯、空气悬架控制 ECU 等组成。其主要部件分布如图 1-101、图 1-102 所示，电路原理图如图 1-103、图 1-104 所示，组成原理图如图 1-105所示。

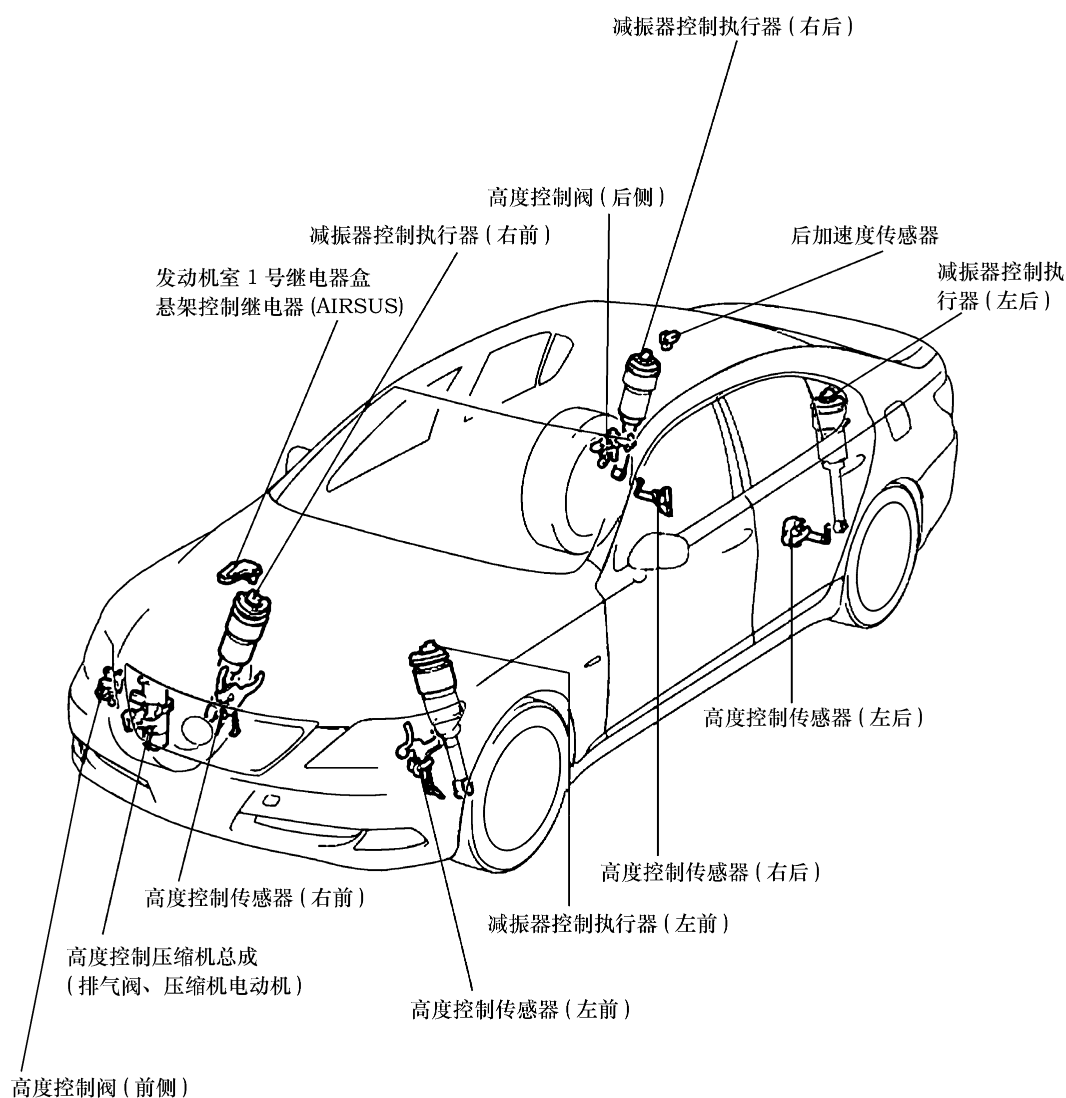


图 1-101　雷克萨斯 LS460 轿车空气弹簧悬架系统主要部件分布

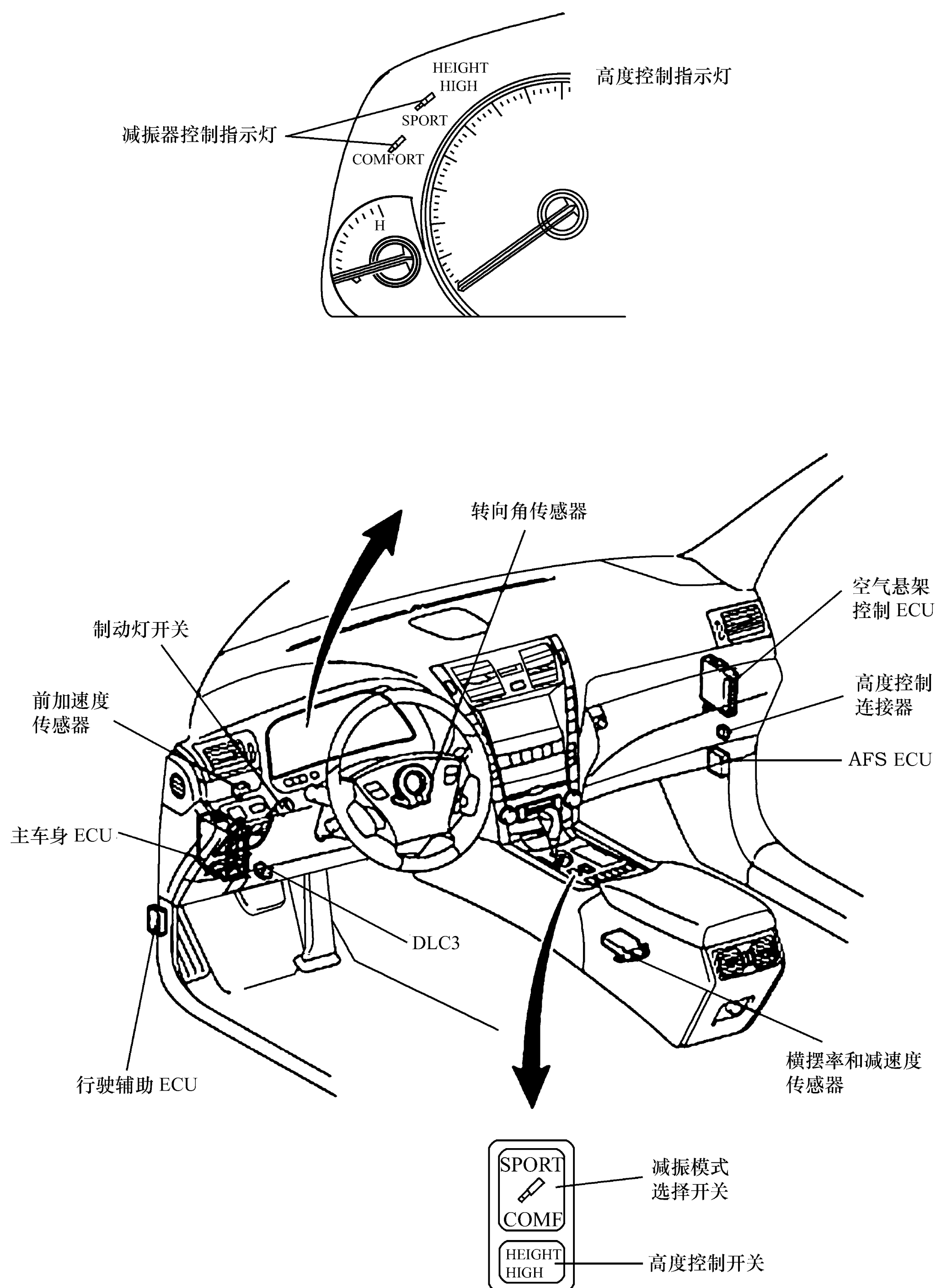


图 1-102 雷克萨斯 LS460 轿车空气弹簧悬架系统主要部件（驾驶室）分布

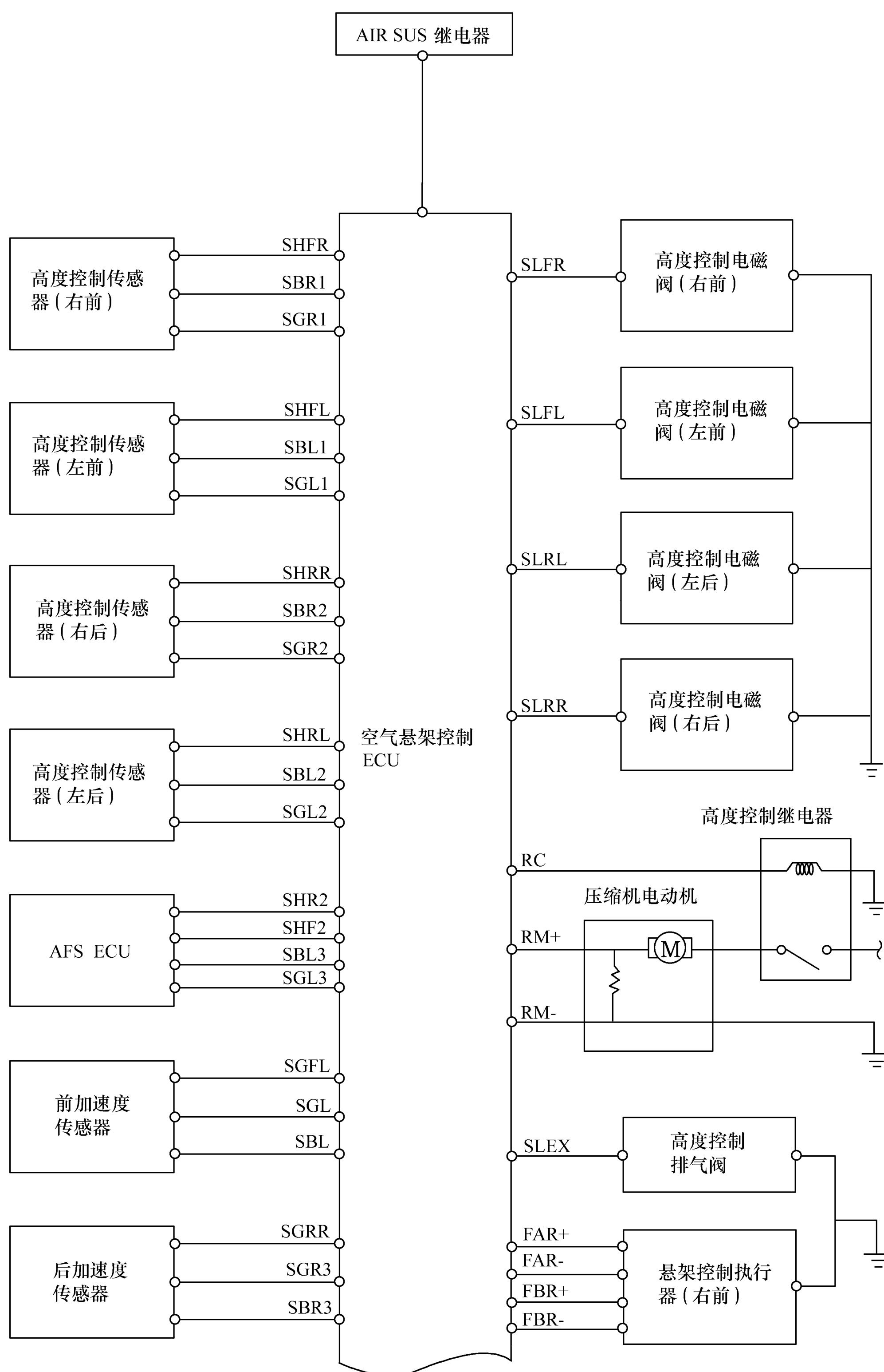


图 1-103　雷克萨斯 LS460 轿车空气弹簧悬架电控系统电路原理图（一）

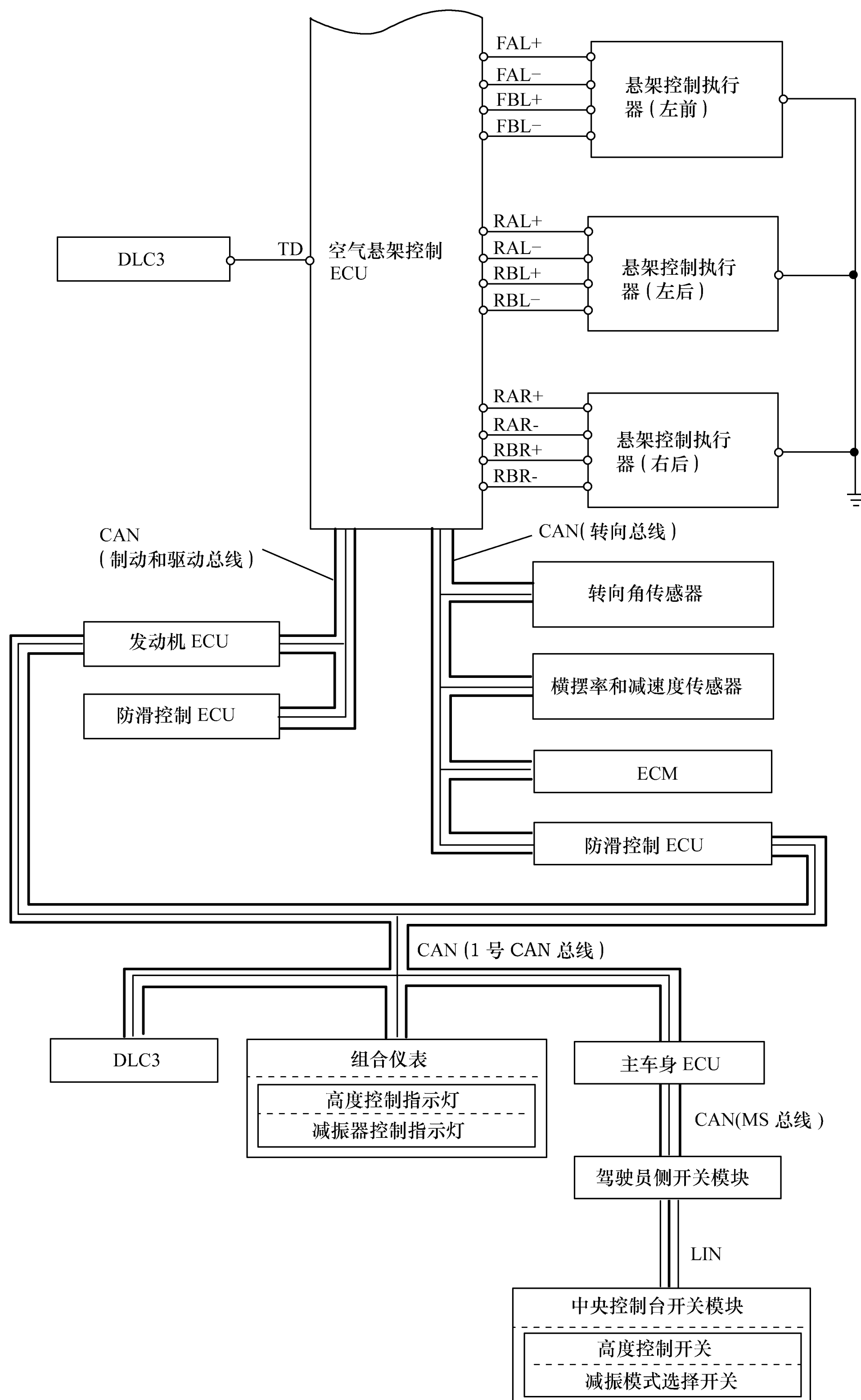


图 1-104 雷克萨斯 LS460 轿车空气弹簧悬架电控系统电路原理图（二）

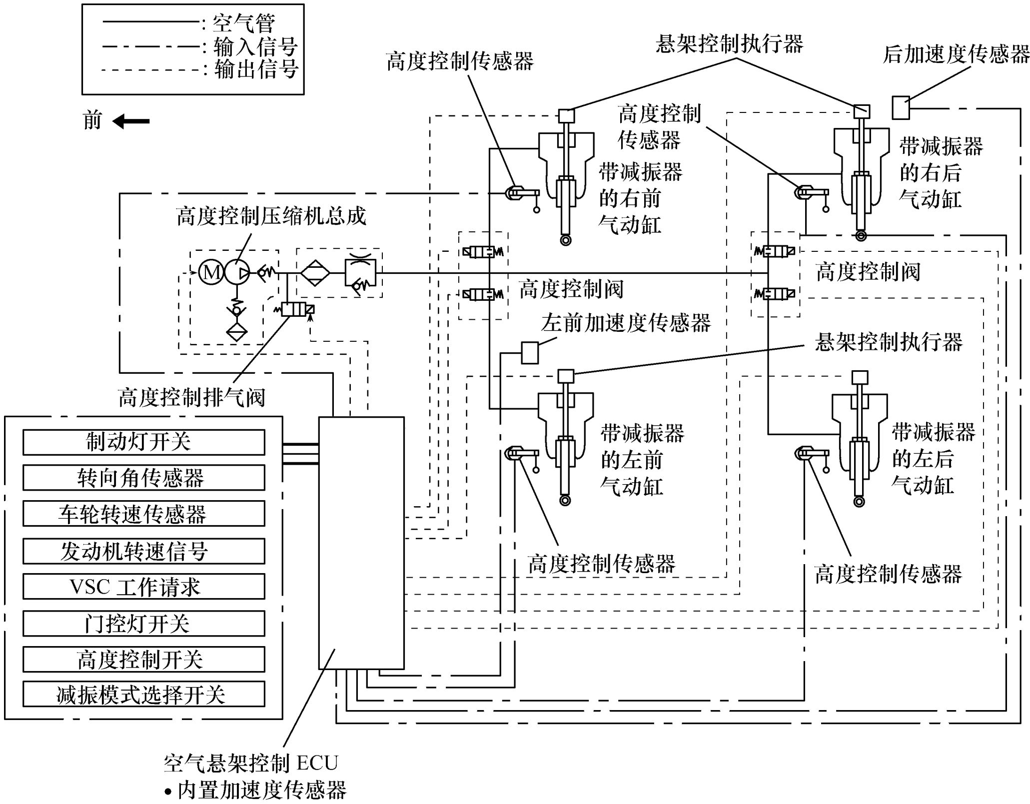


图 1-105　LS460L/460 电子控制空气悬架系统组成原理图

其主要部件的功用如表 1-2 所示。

表 1-2　LS460L/460 电子控制空气悬架系统主要部件的功用

部　　件	功　　能
悬架控制执行器	改变阻尼力
高度控制继电器	为压缩机电动机供电
前、后高度控制阀	将压缩空气压缩到 4 个气动缸（左前、右前、左后和右后）内，或将压缩空气从 4 个气动缸中排出
压缩机和除湿器总成	压缩机和电动机提供压缩空气以提升车辆高度 除湿器除去压缩空气中的湿气
排气阀	将气动缸中的压缩空气排放到大气中，以降低车辆高度
高度控制传感器	检测车辆高度和因路面凹凸不平悬架的位移量
前加速度传感器	检测右前和左前车身的垂直加速运动
后加速度传感器	检测后车身的垂直加速运动
高度控制连接器	连接端子无需经过空气悬架 ECU，即可直接调节车辆高度
转向角传感器	检测转向盘的转动方向和角度
横摆率和减速度传感器	检测车辆的横摆率、车辆的纵向和横向加速度
高度控制开关	选择车辆高度

（续）

部　　件	功　　能
减振模式选择开关	选择阻尼力
高度控制指示灯（在组合仪表中）	亮起以指示高度控制开关处于 HIGH 闪烁以指示空气悬架系统出现故障
减振器控制指示灯	亮起以指示阻尼力处于“SPORT”模式或“COMFORT”模式（通过减振模式选择开关进行切换）
防滑控制 ECU	接收来自制动灯开关和转速传感器的信号，并将其发送到空气悬架控制 ECU
主车身 ECU	接收来自门控灯开关、模式选择开关和减振模式选择开关的信号，并将其发送到空气悬架控制 ECU
发动机 ECU	接收来自曲轴位置传感器、发动机转速传感器和集成电路调节器的信号，并将其发送到空气悬架控制 ECU
空气悬架控制 ECU	根据工作模式控制阻尼力和车辆高度；ECU 检测到悬架控制系统出现故障时，高度控制指示灯闪烁以警告驾驶员；高度控制指示灯闪烁以输出 DTC

高度控制传感器采用霍尔集成电路型高度控制传感器。霍尔集成电路将磁通量变化转换成电信号，并将其输出到空气悬架控制 ECU。共有两个前高度控制传感器，左右各一，通过控制连杆将其安装到前悬架下臂和车身上，如图 1-106 所示。同样有两个后高度控制传感器，左右各一，通过控制连杆将其安装到后悬架下臂和车身上，如图 1-107 所示。

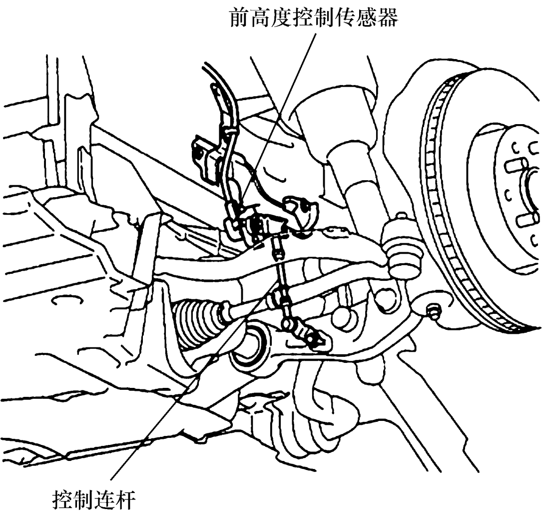


图 1-106　前高度控制传感器

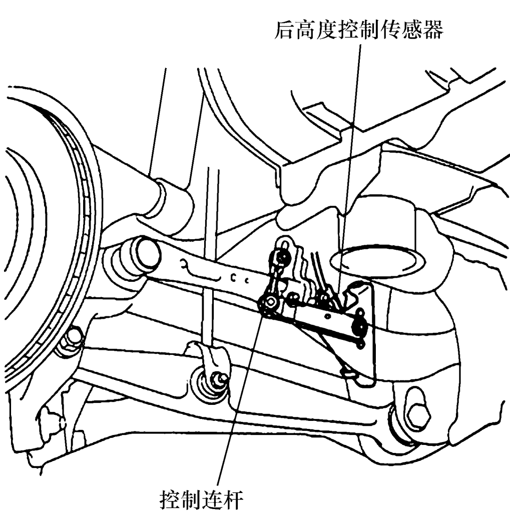


图 1-107　后高度控制传感器

可以通过改变高度控制传感器连杆的长度来调整汽车高度，如图 1-108 所示。在进行汽车高度调整时，必须使高度控制开关处于 NORM 位置。应将汽车停在水平面上进行高度调整，务必将汽车的高度调整到标准范围以内。此外，除沿用上述的使用高度控制传感器进行车辆高度调节外，还新增了使用智能检测仪进行车辆高度调节的功能。

在进行四轮定位前，必须检查车身高度，如果不符合要求，对上述的具有车辆高度控制

系统的汽车来说，可进行调整，使车身高度符合要求。

加速度传感器的外形如图 1-109 所示，它用于检测车身的垂直运动。车身有两个加速度传感器，其中一个与悬架控制 ECU 集成一体，另一个位于车身后部，两个加速度传感器可分别检测车辆的垂直加速度。

转向角传感器如图 1-110 所示，它位于组合开关部位。该传感器检测转向力矩和转向盘的转动方向。转向角传感器总成包括两组磁阻元件，它们可检测内置于检测机构的磁铁的旋转，进而识别转向盘的转动情况。

图 1-111 是高度控制阀的结构图，它控制压缩机和 4 个气动缸之间的空气管道。有两个高度控制阀，前后各一。

压缩机和除湿器总成为整体式结构，如图 1-112 所示。其中，压缩机和电动机用以产生压缩空气。除湿器可除去压缩空气中的湿气。而排气阀可将气动缸内的压缩空气排放到大气中。

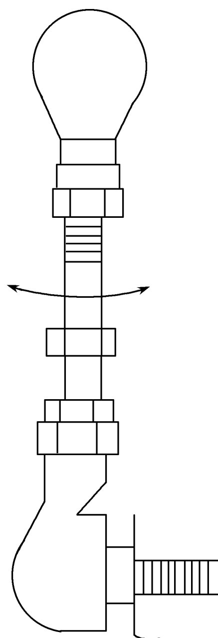


图 1-108　高度控制传感器连杆长度的调整

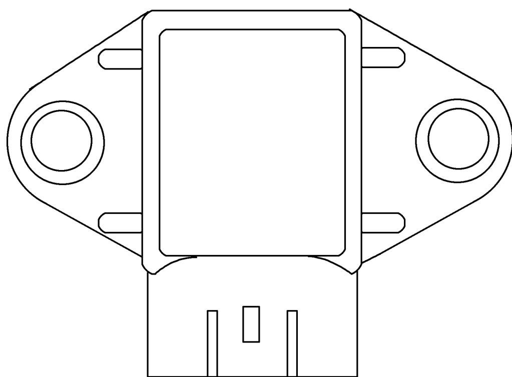


图 1-109　加速度传感器

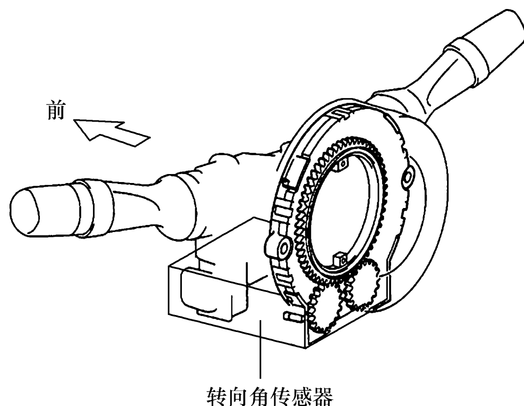
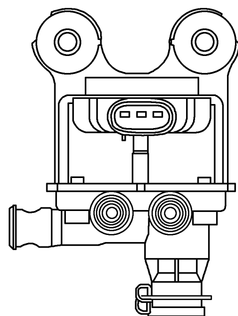


图 1-110　转向角传感器



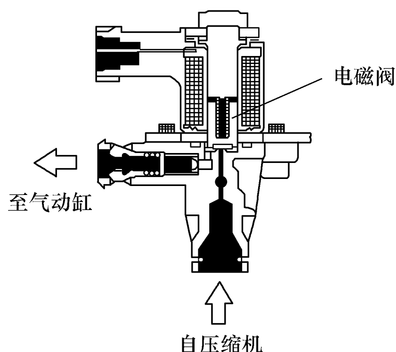


图 1-111　高度控制阀

空气悬架系统中使用了带减振器的气动缸。前、后气动缸的结构如图 1-113 所示。各气动缸由可变阻尼力单管式减振器（内含高压氮气）和可容纳大容量压缩空气的单个空气室组成，实现了良好的乘坐舒适性。

该减振器使用活塞在极小速度范围内运动时产生的阻尼力，实现了乘坐舒适性和行驶稳定性，加至减振器的可变阻尼力足以使车辆在任何路况上行驶都可实现良好的稳定性和乘坐舒适性。

为改变减振器的阻尼力，采用了强阻尼阀和弱阻尼阀。旋转阀可改变流经自身的油的比例，因此阻尼力随其工作情况而发生变化。

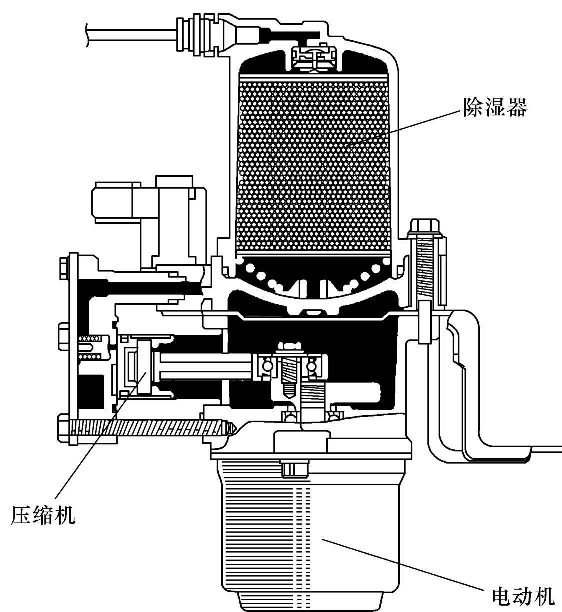


图 1-112　压缩机和除湿器总成

悬架控制执行器如图 1-114 所示，它位于各气动缸的端部。该执行器采用可分 9 级切换的步进电动机，以控制阻尼力的细微变化。步进电动机由 2 组定子和线圈组成。为控制阻尼力，步进电动机根据来自空气悬架控制 ECU 的信号使电磁转子（直接与减振器控制杆结合）稍微旋转。

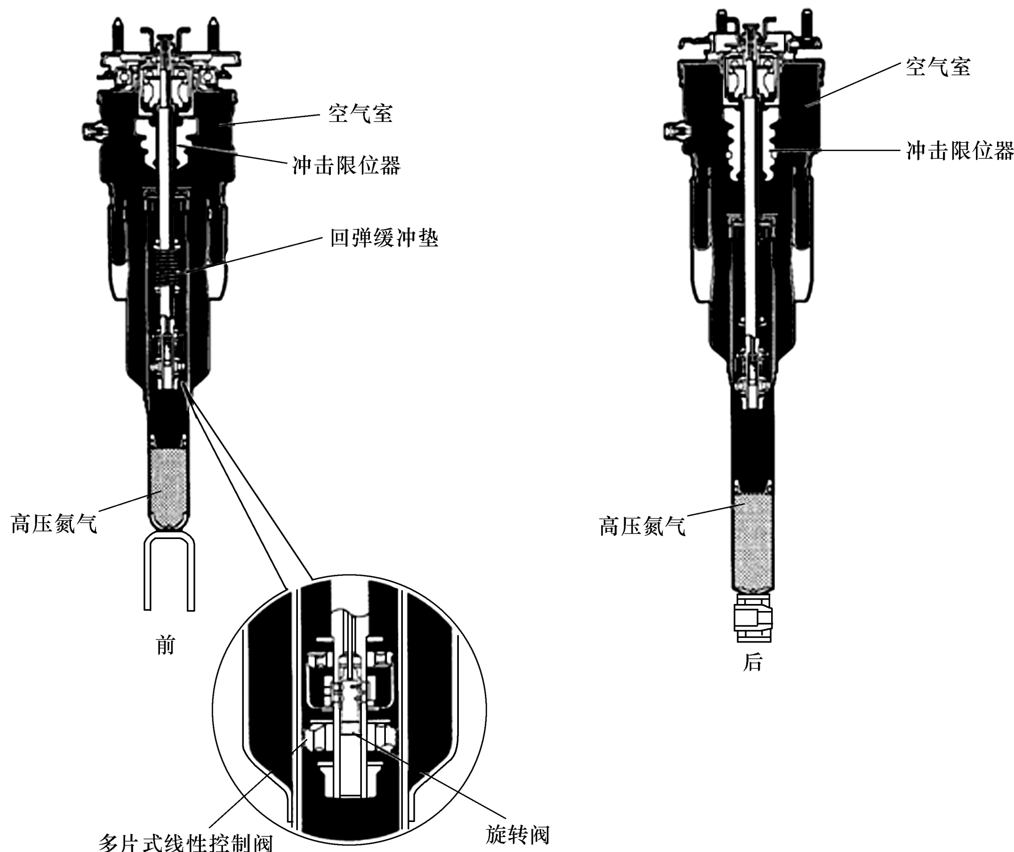


图 1-113　带减振器的前、后气动缸

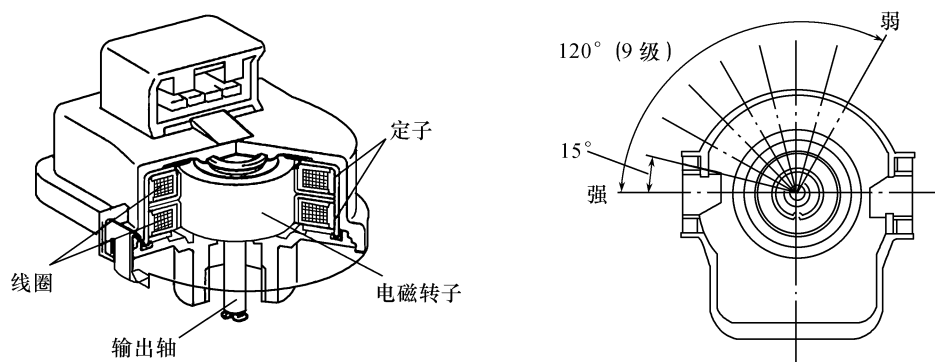


图 1-114　悬架控制执行器

减振模式选择开关位于变速杆后，可用来改变减振器的工作模式。默认模式为 NORMAL，按下此开关可选择 SPORT 或 COMFORT 模式之一。

对于带 VGRS 的车型，可根据减振模式选择开关的状态改变转向传动比。

空气悬架 ECU 的控制内容与功能见表 1-3。

表 1-3　空气悬架 ECU 的控制内容与功能

控制项目		功能
减振器阻尼力控制	半主动控制（非线性“H”控制）	根据路面或行驶状况的变化，将阻尼力平稳地改变至目标值，可实现良好的乘坐舒适性
	侧倾姿态控制	调节阻尼力以减小转向过程中车辆侧倾角和纵倾角之间的差，从而实现平稳性和极好的操控性
	防潜控制	使阻尼力变得更大，该控制抑制车辆在制动过程中点头并将车辆姿态的变化限制到最小
	防后坐控制	使阻尼力变得更大，该控制抑制车辆在加速过程中尾部后坐并将车辆姿态的变化限制到最小
	速度感测控制	使阻尼力变得更大，该控制使车辆在高速行驶时具有极好的行驶稳定性和控制性
车辆高度控制	自动调平控制	无论乘员和行李的重量如何，都可使车辆高度保持不变。操作高度控制开关可将车辆目标高度调至“正常”或“高”位置
	高速控制	以规定或更高速度行驶时降低车辆高度（选择“正常”时降至“低”位置，或选择“高”时降至“正常”），这样就提高了车辆的空气动力学性能和高速行驶时车辆的稳定性

如果空气悬架控制 ECU 检测到此系统有故障，则高度控制指示灯闪烁以警告驾驶员，同时空气悬架 ECU 存储故障码。可通过高度控制指示灯闪烁或使用智能检测仪Ⅱ来读取 DTC（故障码）。

如果任一传感器或执行器出现故障，系统进入失效保护状态，空气悬架控制 ECU 禁用车辆高度控制和/或阻尼力控制。

检修空气悬架控制系统时可通过智能检测仪Ⅱ的主动测试功能，直接激活悬架控制执行

器，来检查车辆高度控制的工作情况。

用千斤顶顶起或用举升机升起车辆前，确保电源关闭。

如果发动机运转时升高车辆，则跨接 DLC3 的端子 OPA 和 CG，以停止空气悬架控制 ECU 的车辆高度控制。

3. 奔驰主动车身控制系统（ABC 系统）

奔驰公司在奔驰 CL 轿跑车、S600 及 S55AMG 轿车上配置了著名的 ABC 系统，如图 1-115所示。ABC（Active Body Control）系统即主动车身控制系统。其优点是：减小在转弯、加速和制动时的车身移动；自动调整车身高度；可自动降低车身高度或手动升高车身；进行主动减振控制；可选择运动模式；改善驾驶安全。

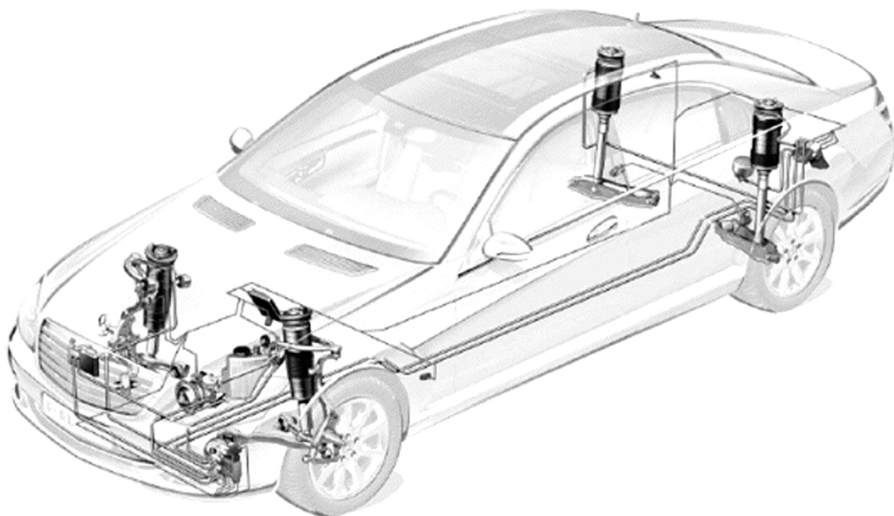


图 1-115　奔驰 ABC（主动车身控制）系统

带 ABC 系统的前、后悬架结构如图 1-116、图 1-117 所示。

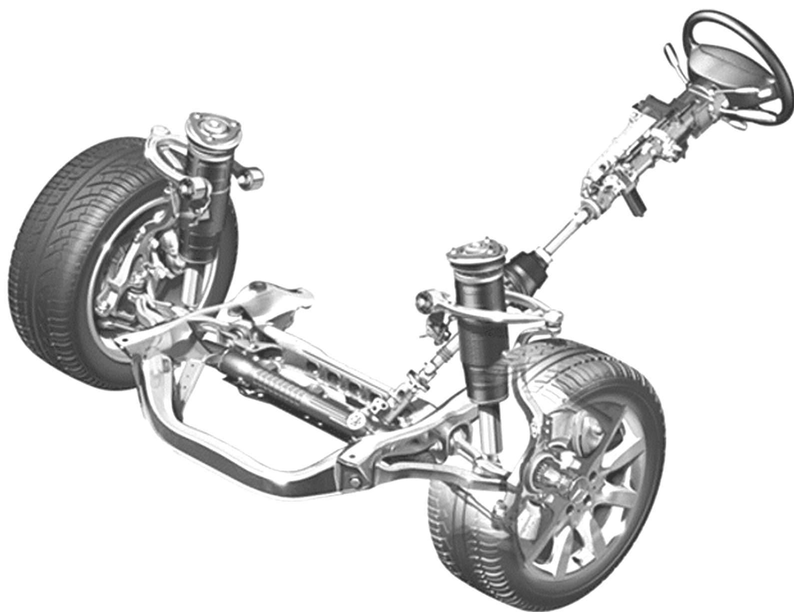


图 1-116　带 ABC 系统的前悬架

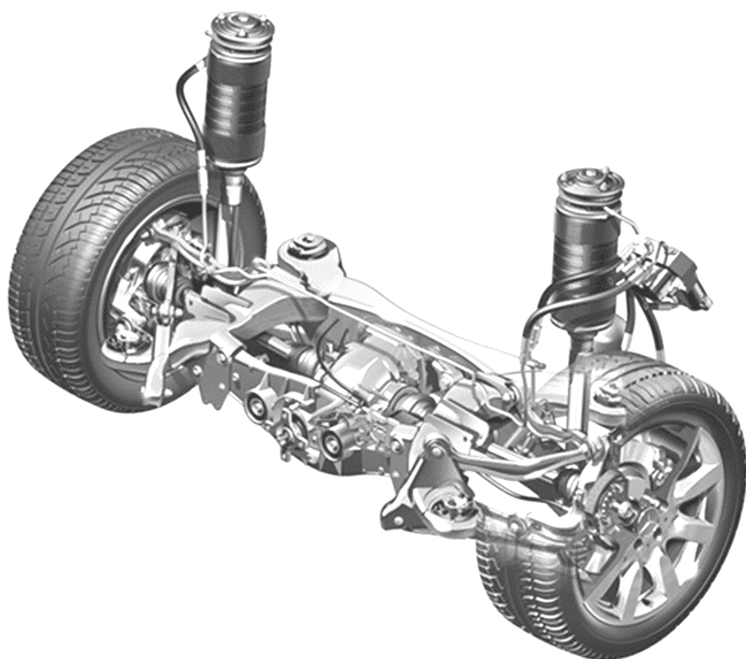


图 1-117　带 ABC 系统的后悬架

在 ABC 系统中，利用每个车轮上的悬架系统中的动态液压活塞来承托车身，控制车身高度，液压控制的伺服液压缸自动地移动弹簧座（位于减振弹簧顶部）以吸收外界传到车身的振动，ABC 悬架支柱结构示意图如图 1-118 所示。这样，弹簧和减振器就可以设计得更软一点，因为在遇到障碍物时，可通过移动弹簧座调节悬架系统的弹簧刚度。车身在加速和制动时的前后运动及在转弯时的左右摆动也得到了控制，使得车身在任何情况下都保持在同一水平。系统不再需要使用防扭杆。在整个 ABC 系统中采用了 13 个传感器和两个微处理器。这些传感器主要检测下列数据：纵向及横向加速度、垂直车身加速度、车身高度、悬架支柱柱塞位置等。控制系统每 0.01s 向悬架系统发出一次指令以适应各种行驶状况。

ABC 系统的优势在于，主动车身控制电脑会根据驾驶状态随时地控制悬架弹簧的刚度和减振器的阻尼力，它可以在车辆开始转弯时，探测到转向盘和车身的很微小的变化，并在车身摆动增大前做出正确的反应使车身保持平稳。ABC 系统的工作效果非常好，即使在颠簸的路面上行驶，车辆也能保持良好的操纵性和稳定性。

ABC 电控系统主要由左、右多功能显示器、ABC 系统油压传感器、左前支柱柱塞行程传感器、右前支柱柱塞行程传感器、右后支柱柱塞行程传感器、右后支柱柱塞行程传感器、左后水平传感器、右后水平传感器、左前水平传感器、右前水平传感器、左前车身加速度传感器、右前车身加速度传感器、左后车身加速度传感器、ABC 横向加速度传感器、ABC 纵向加速度传感器、ABC 油温传感器、ABC 控制电脑、水平调整按钮、ABC 舒适/运动模式选择按钮、ABC 前阀门单元、ABC 后阀门单元、ABC 吸入限制阀等部件组成。

ABC 系统液压回路主要由储液罐、液压油冷却器、径向活塞式液压泵、油压供应阀单元、ABC 吸入限制阀、前储压器、后储压器、回流储压室、前阀门单元、后阀门单元、各悬架支柱液压组件等组成，如图 1-119 所示。

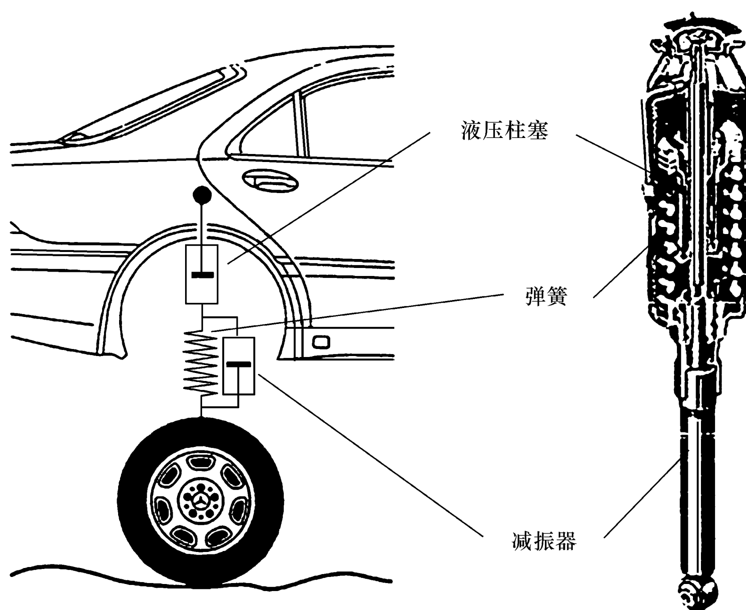


图 1-118 ABC 悬架支柱的结构

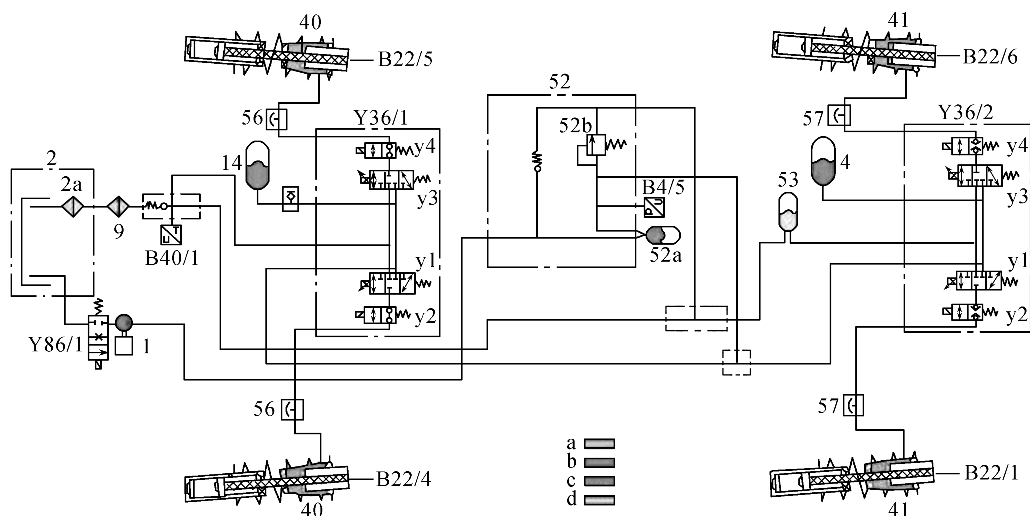


图 1-119 ABC 系统液压回路

a—吸入管道 b—操作压力 c—控制压力 d—回流管道 2a—滤清器 52b—压力释放阀 Y36/1y1—左前支柱控制阀 Y36/1y2—左前支柱关闭阀 Y36/1y3—右前支柱控制阀 Y36/1y4—右前支柱关闭阀 Y36/2y1—左后支柱控制阀 Y36/2y2—左后支柱关闭阀 Y36/2y3—右后支柱控制阀 Y36/2y4—右后支柱关闭阀 1—径向活塞式液压泵 2—储液罐 4—后储压器 9—液压油冷却器 14—前储压器 40—前悬架支柱 41—后悬架支柱 52—油压供应阀单元 52a—油压脉动衰减器 53—回流储压室 56—前排气螺钉 57—后排气螺钉 Y36/1—前阀门单元 Y36/2—后阀门单元 Y86/1—ABC 吸入限制阀 B22/1—左后支柱柱塞行程传感器 B22/4—左前支柱柱塞行程传感器 B22/5—右前支柱柱塞行程传感器 B22/6—右后支柱柱塞行程传感器 B4/5—ABC 系统油压传感器 B40/1—ABC 油温传感器

径向活塞式液压泵用以产生高压。油压供应阀单元内置压力限制阀限制最高油压，正常

工作时，ABC 系统的工作油压约为 18～20MPa。油压脉动衰减器及 ABC 油压传感器附在油压供应阀单元上，油压脉动衰减器用以减小油压波动，ABC 油压传感器信号送至 ABC 电脑，控制油泵输出。ABC 吸入限制阀采用比例阀的设计，不通电时阀门关闭，用以调节油泵进油量。前、后储压器可储存最高约 20MPa 的油压，在需要时迅速提供液压能量。回流储压室用以减小油液回流时的噪声。前、后阀门单元均包括两个控制阀和两个关闭阀（截止阀），控制阀用以控制进、出悬架支柱的油压；关闭阀通电时操纵悬架水平及减振，不通电时防止车身水平不必要的下降。各悬架支柱液压柱塞的实际位置由柱塞行程传感器检测。

当 ABC 系统出现问题时，会根据重要性，在多功能显示屏上发出“ABC GO TO WORKSHOP!”或“ABC DRIVE CAREFULLY!”的警告信息。

若 CAN 数据线不能传递系统数据，则会出现“ABC GO TO WORKSHOP! DISPLAY FAUTY”的警告信息。

如果车身高度水平比正常水平低 64mm 以上，则会出现“ABC STOP，CAR TOO LOW!”的警告信息。

ABC 系统的工作情况如下：

1）正常功能。发动机运行或车辆行驶时，如果车辆负载增加，车身高度下降，系统会利用油压将车身升回原来水平；若负载减小，系统便使油液回流，令车身水平维持不变。

2）发动机关闭功能。在关闭发动机的 1min 内，电脑监控车身水平，如负载减小，车身升高，电脑便会调整车身水平，但只能降低车身水平，以防电能消耗过大。

3）唤醒功能。当关闭点火开关 1min 后，电脑会进入休眠状态，当操作遥控钥匙、开关车门或行李箱盖时，便会唤醒 ABC 电脑，进行车身水平监察，若负载减小，车身升高，电脑便会调整车身水平，由于发动机未起动运转，故也仅能降低车身水平。

4）开匙功能。点火开关打开时，工作状态与唤醒功能一样，只是没有时间限制。

5）锁定位置功能。当车辆停止及发动机不运转时，若系统检测出车轮没有负载或负载减小（例如更换轮胎或是在举升机上），便会关闭所有截断阀，令车身水平高度维持不变。

值得注意的是，当车辆闲置不用，一段时间后车身水平可能会降低。当车辆闲置很久（约四星期）时，车身水平可能会缓慢降低，但应不超过 30mm。当车辆行驶时，ABC 油液在正常工作温度下工作，而停车后，油温降低，令车身水平下降，但应为缓慢下降且下降量应不超过 20mm。

驾驶员可以利用车身水平调整按钮选择正常车身水平、高车身水平或更高车身水平，但车速超过某一速度时，升高车身操作会自动取消；当车速降低后，系统会自动回复升高车身操作。

ABC 悬架支柱主要由液压柱塞、弹簧及减振器组成。ABC 悬架支柱液压柱塞行程传感器整合在液压柱塞内。减振器采用双管气压式设计。

车辆行驶时，5Hz 以下的低频振荡将由 ABC 悬架支柱液压柱塞吸收；5Hz 以上的振荡将由减振器吸收。这样，可以减小因路面不平所产生的车身跳动、加速或制动时的车身前后摇晃、因转向或路面横向倾斜所造成的侧倾或滚动。

（四）四轮定位的理论与实践

在了解了底盘的悬架、转向系统结构原理后，还要更进一步地了解四轮定位理论。

四轮定位是以车辆的纵向对称平面作为基准，以后轮作为基点，同时对四个车轮的定位角进行互相匹配的检测和调整。它反映车轮、悬架、车桥和转向节在装配时的相对角度位置关系。其主要内容包括：后轮外倾角、后轮前束、主销后倾角、主销内倾角、前轮外倾角和前轮前束。调整时应尽量保证推进线与车辆的纵向对称中心线重合，如当后轮前束不能调整，不能保证推进线与车辆纵向几何中心线重合时，应进行补偿四轮定位，即以后轮推进线为基准来进行四轮定位。在进行四轮定位相关故障诊断时，除应正确认识车轮外倾角、车轮前束、主销后倾角、主销内倾角外，还必须深入理解行车高度、轴距、包容角、退缩角、推进线、推力角、前束、转向角、主销拖臂、主销偏距等相关内容。

1. 主销后倾角

主销在纵向平面内与通过车轮中心的垂线形成的角度 γ 叫主销后倾角（图 1-120）。

主销后倾的作用是形成回正的稳定力矩，保持汽车直线稳定行驶。主销后倾时，其轴线的延长线与路面的交点 a 位于车轮与路面的接触点 b 之前，b 点到主销轴线延长线之间的垂直距离为 L。直线行驶的汽车若其转向轮偏转（如图中所示向右偏转），将使汽车偏离行驶方向而向右转弯。由于汽车本身离心力的作用，在车轮与路面接触点 b 处将产生一个路面对车轮的侧向反作用力 y（即向心力）。由于反作用力 y 不通过主销轴线，因而形成了使车轮绕主销轴线旋转的力矩 yL，其方向与车轮偏转方向相反。此力矩有使车轮回复到原来中间位置的作用、从而保证了汽车直线行驶的稳定性，故称为稳定力矩。若对主销后倾保持汽车直线稳定行驶的作用不好理解，可以做推小轮车实验，如图 1-121 所示，当如图中①图那样推车时通常会左右摇晃，而如图中②图所示就比较平稳。

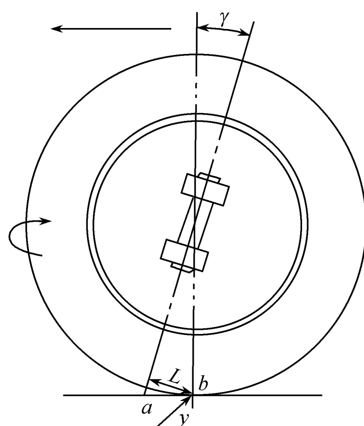


图 1-120 主销后倾角

主销轴线的延长线与路面的交点 a 与车轮和路面的接触点 b 两点之间的距离一般称为主销拖距。后倾角 γ 增大则主销拖距也增大。后倾角 γ 越大、车速越高，稳定力矩也越大，车轮偏转后自动回正的能力也越强。但后倾角也不宜过大，一般 γ 角不超过 $2°\sim3°$，否则在汽车转向时为了克服稳定力矩，驾驶员需在转向盘上施加较大的力（即所谓转向沉重），而且可能出现车轮回正过猛反而引起车轮摆振。有些汽车由于采用低压轮胎，弹性增加，转向时因轮胎弹性变形而使轮胎与路面的接触点后移（图 1-122），力臂增大（图中总的力臂为 $L+J\cos\gamma$），引起稳定力矩增加，故后倾角可以减小，甚至为负值（即主销前倾）。

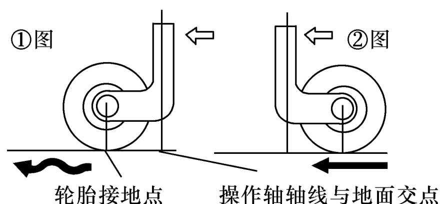


图 1-121 手推小轮车实验

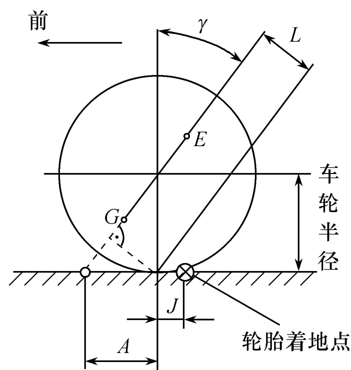


图 1-122 主销拖距的变化

有的车为了优化主销拖距，主销轴线偏离车轴中心，在这种结构中主销轴线位于车桥支架前面，目的是为了提高直线行驶稳定性和转向时驾驶员的路感，如图 1-123 所示。如丰田普瑞斯、2007 款凯美瑞的前悬架就采用了这种结构。

主销轴线向后倾斜时后倾角为正值，向前倾斜为负值，主销垂直于地面时后倾角为零。主销后倾角一般取 2°～4°。主销后倾角大些，有利于直线行驶的稳定性，但是将加大转向盘的转动力矩，因此只有雷克萨斯 400、奔驰 600 等高级轿车，因本身具有良好的转向助力系统，主销后倾角达到了 10°左右。

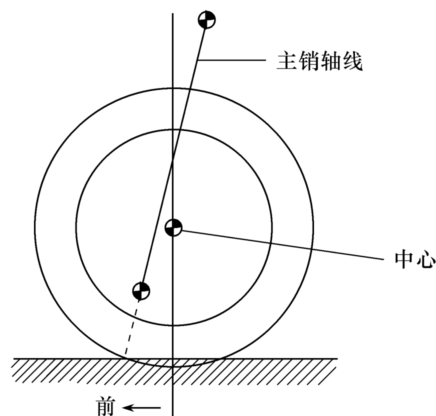


图 1-123　主销轴线偏离车轴中心

汽车左前轮和右前轮主销后倾角相差过大，会引起汽车向后倾角小的方向跑偏。因此尽管有时左右两个前轮的主销后倾角都没有超过标准，但是它们的差值超过一定限度也要发生跑偏。所以越来越多的场合已经提出了总后倾角的概念，总后倾角是指两侧车轮主销后倾角的差，总后倾角一般为 0.5°。有时，左右两轮的后倾角都在允许的范围内，但总后倾角超过了标准值，方向就会跑偏。比如，丰田凯美瑞主销后倾角为 1.56°±0.75°，实际左前轮为 2.25°，右前轮为 0.91°，总后倾角实际值为 1.34°，但厂家提供的总后倾角标准值为 0.75°，超差了差不多一倍。所以，在这种情况下，汽车会向右跑偏。

2. 主销内倾角

汽车前轮的主销在横向平面内与路面的垂线所形成的角度叫主销的内倾角（Steering Axis Inclination），即转向轴线内倾，如图 1-124a 所示，β 为主销内倾角，α 为车轮外倾角。

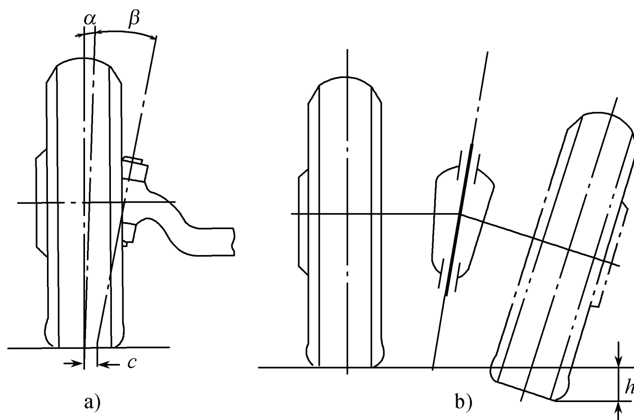


图 1-124　主销内倾角

主销内倾角的作用之一是使车轮自动回正。如图 1-124b 所示，当转向轮在外力作用下绕主销旋转（为了解释方便，假设旋转 180°，即由图中实线位置转到双点画线位置）而偏离中间位置时，由于主销是向内倾斜的，车轮的最低点将陷入路面以下 h 处，即车轮须将路面压低后才能旋转过来，但实际上路面不可能被压低，车轮下边缘并不能陷入路面之下，而是车轮连同整个汽车前部被向上抬起相应的高度。一旦外力消失，转向轮就会在汽车前部重

力作用下力图自动回复到旋转前的中间位置。主销内倾角愈大或转向轮偏转角愈大，汽车前部就被抬起得愈高，转向轮自动回正的作用就愈大。

主销内倾角的另一个作用是使转向操纵轻便。如图 1-124a 所示，由于主销内倾，使主销轴线延长线与路面的交点到车轮中心平面与路面的交点之间的距离 c（主销偏距）缩短，转向时路面作用在转向轮上的阻力矩减小（因为力臂 c 减小），从而可减小转向时驾驶员施加在转向盘上的力，使转向操纵轻便；同时还可以减小因路面不平而从转向轮传到转向盘的冲击力。

汽车的主销并没有一个固定的模式，不同类型的汽车主销的表现形式也不同。汽车前轴载荷通过谁传给转向轮的，转向轮又始终围绕谁在旋转，谁具备了这两条就可以称作“主销”的条件。如采用麦弗逊式悬架的主销轴线为下摆臂球头中心与减振器顶部碗状轴承总成形成的铰链中心的连线。对于常见的双横臂式悬架来说，上、下摆臂球头的中心连线即为主销轴线。对于如图 1-125 所示的双横臂式悬架来说，其采用了拉杆及液压支座与下部横摆臂双铰链结构时，其主销轴线就为上球头与下方由拉杆和下部横摆臂形成的虚拟中心的连线，这个由拉杆和下部横摆臂形成的虚拟中心如图 1-126 所示。在转向过程中，虚拟中心的位置会做轻微变动，如图 1-127 所示。

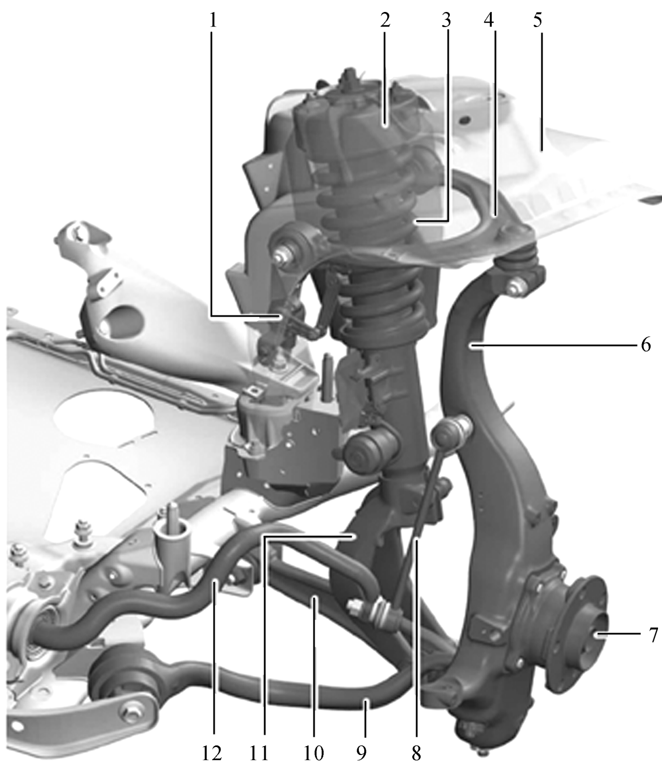


图 1-125 双横臂式前悬架（宝马 E70）

1—车辆高度传感器 2—支撑座 3—弹簧减振支柱 4—上部三角横摆臂 5—弹簧减振支柱支撑 6—摆动支座 7—车轮轴承 8—稳定杆连杆 9—拉杆及液压支座 10—下部横摆臂 11—弹簧减振支柱叉 12—稳定杆

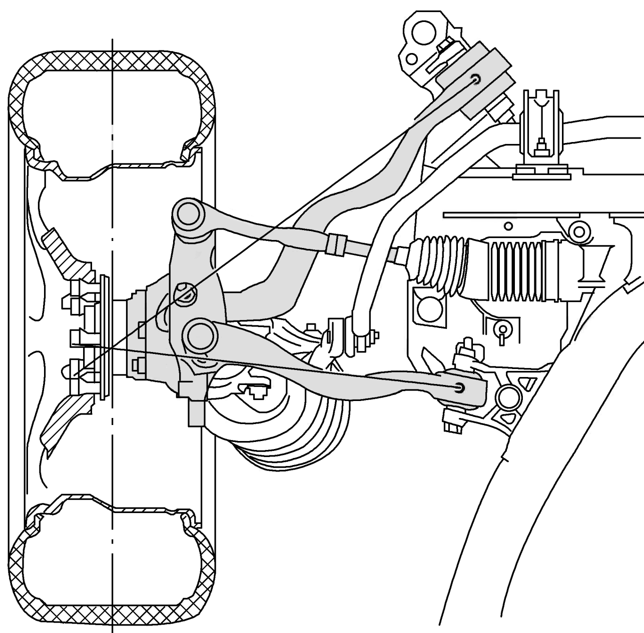


图 1-126　拉杆和下部横摆臂形成的虚拟中心（直行时）

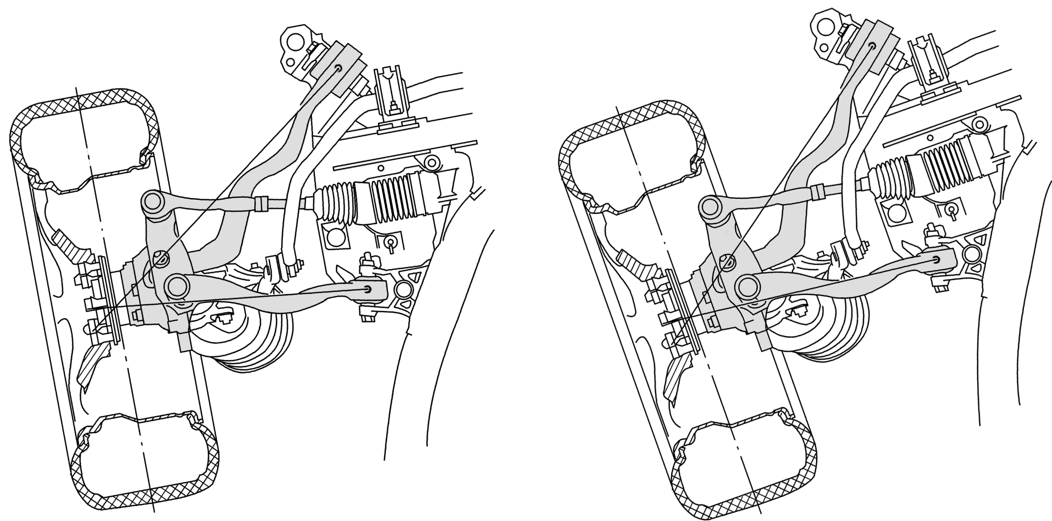


图 1-127　拉杆和下部横摆臂形成的虚拟中心（转向时）

3. 主销偏距（摩擦弧径）

主销轴线延长线与路面的交点到车轮中心平面与路面的交点之间的距离即为主销偏距，有的资料上称摩擦弧径，如图 1-128 所示。

主销偏距（摩擦弧径）影响与稳定性和回正性有关的转向性能，然而，主销偏距不是一个前轮定位参数，它不能从常规的定位仪中测量出来。正主销偏距是指内倾角线与路面的交点在轮胎中心线与路面的交点的内侧，负主销偏距是指内倾角线与路面的交点在轮胎中心线与路面的交点的外侧。

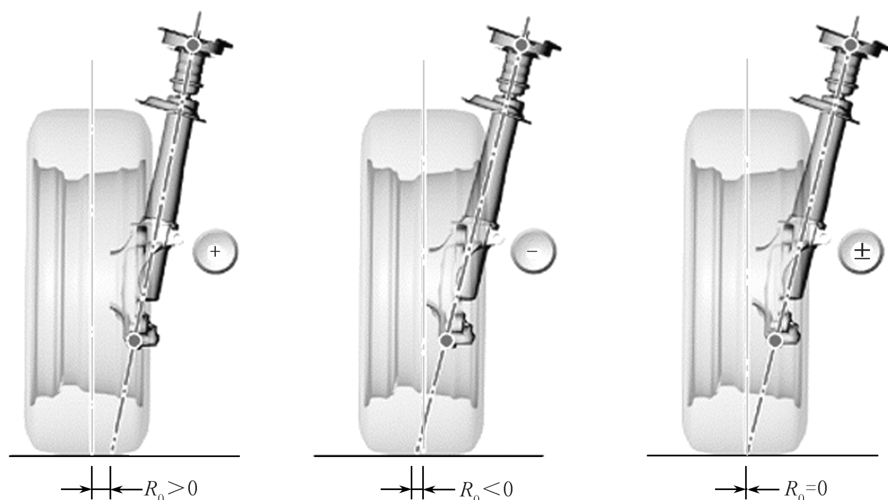


图 1-128 主销偏距

普通的双横臂前悬架系统通常有正的主销偏距，也有许多前轮驱动车辆有负的主销偏距。当前轮驱动车辆的主销偏距为负时，制动时不会跑偏，方向稳定性也得到保证。车辆向前行驶时，正的主销偏距趋向于使前轮向外转，负的主销偏距趋向于使前轮向内转。

如果车辆的主销偏距为正，因制动系统故障，右前轮制动器制动力大于左前轮制动力时，制动力与主销正偏距所产生的力矩趋向于使右前轮向外转，同时右前轮制动力大于左前轮也将使整个车体绕右前轮转动，这样加剧制动向右跑偏现象，将导致车辆突然向右转向；如果车辆的主销偏距为负，右前轮制动器制动（左前轮制动力丧失）时，左右制动力不等使整车绕右前轮转动，然而负的主销偏距与制动力所产生的力矩趋向于使右前轮向内转动，其结果相互抵消从而保证了方向的稳定性。

安装的轮胎或轮毂尺寸若大于制造厂的规定尺寸会使主销偏距发生变化，导致操纵稳定性降低，产生碰撞损坏及人员受伤，安装较大的前轮胎会使正的主销偏距变负。

主销偏距为正且较大时，滚动阻力对已转向的车轮影响较大。路面附着系数不断变化或车轮负荷不同时，受影响较大的车轮将承担导向任务。这会造成方向稳定性变差。如今从设计上已尽可能采用较小的主销偏距（如宝马 E65 底盘的主销偏距为 0，E60 底盘的主销偏距为 2mm），特别是前轮驱动车辆，主销偏距一般都很小甚至为零或负值，以防止因制动或驶过障碍造成的转向轮的冲击传至转向盘，并减小因突然起步或加速时的驱动力绕主销产生的力矩。

前面提到过汽车的主销并没有一个固定的模式，它可以是一条虚拟的轴线。在雷克萨斯 LS460 轿车的前悬架上，上下臂的主要特征是双球节，该特征在转向过程中使主销内倾角增大并使轮胎接地点变化加剧，确保了转向力从而提高了转向性能，如图 1-129 所示。双球节分开的距离越大，复位力矩就越大。

采用双球节上下臂，还优化了主销偏距，轮胎中心和主销间的偏距随车桥中心高度的增大而减小，如图 1-130 所示，从而减小了主销轴周围的力矩（压力）并抑制了摆动压力的产生。通过这种虚拟的“主销轴”，可以实现正和负主销偏距。

同时，采用这种虚拟的“主销轴线”对制动盘和制动钳的安装空间也比较有利。

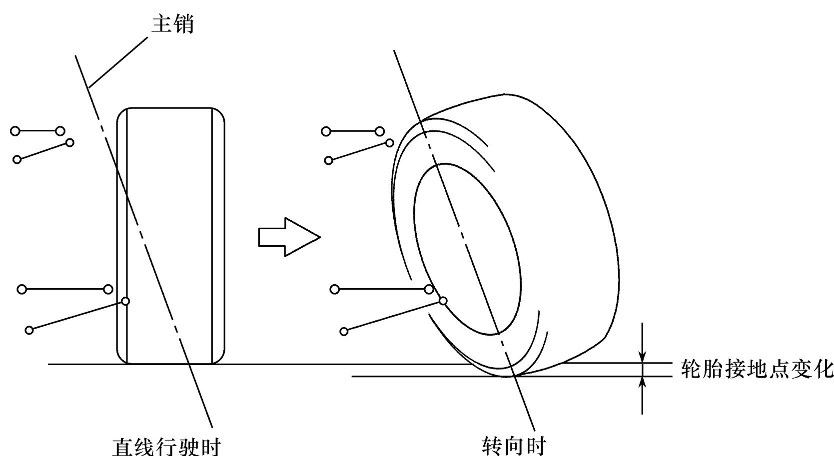


图 1-129　采用双球节上下臂提高转向性能

4. 车轮外倾角

汽车车轮旋转平面向外倾斜，其上端比下端离汽车中轴线更远一些，这种现象称为车轮外倾。车轮旋转平面与纵向垂直平面之间的夹角叫车轮外倾角（参见图 1-124a 中 α 所示）。车轮上端比下端更靠近汽车外侧称为正的车轮外倾角。如果车轮上端比下端更靠近汽车内侧则称负的外倾角，如图 1-131 所示。车轮与地面垂直时外倾角为零。

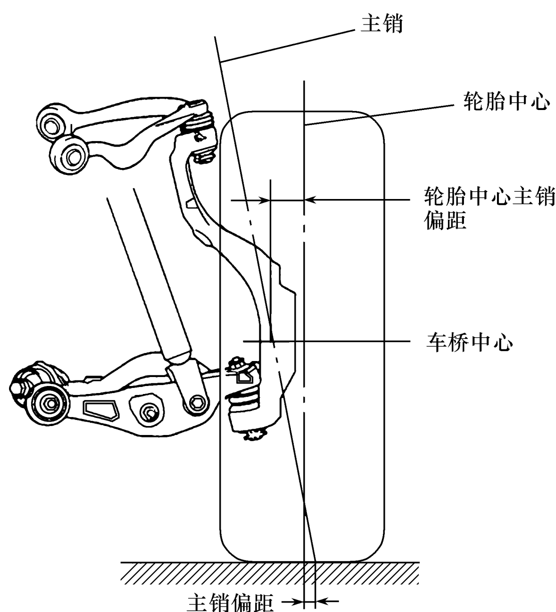


图 1-130　采用双球节上下臂优化主销偏距

由于有车轮外倾角，在满载时，车桥或悬架变形，会使车轮垂直于地面。一方面可以改善车轮外轴承受力情况，另一方面与路面的横向的拱形相适应。如果车轮没有外倾角，满载后车轮会内倾，使轮毂向外压靠在与轮外轴承上，加重了轴承和锁紧螺母的负荷，降低它们的使用寿命，这是从提高车轮工作的安全性方面来考虑的。转向轮外倾与主销内倾相配合可进一步缩短主销偏距，从而使转向轻便。但随着汽车车速的提高，高速转向时，离心力加大，车身向外倾斜加大，外侧车轮产生更大的正外倾，外侧悬架超负载，加重了外侧轮胎的超量变形，外侧车轮的滚动半径小于内侧车轮的滚动半径，就会出现外侧车轮连拖带滚，内侧车轮连滚带揉的现象，即出现“吃胎”现象，纯滚动转向性能降低。所以很多车型采用了负的车轮外倾角，减小转向时的轮胎磨损，提高纯滚动转向性能和车身的横向稳定性。

车轮外倾角一般为 1°左右。车轮外倾角过大时会引起轮胎和方向朝外倾角大的一边跑偏。值得注意的是：有的汽车两侧的外倾角都没有超过标准，但是跑偏发生了，比如雪佛兰鲁米娜前轮外倾角标准值应为 0.69°±0.50°。有一辆鲁米娜左前轮外倾角为 1.18°，右前轮为 0.22°，虽然两侧外倾角都在标准之内，但是汽车往左跑偏。所以现在提出总外倾角的概

念（即两侧外倾角的差叫总外倾角），总外倾角的标准一般为0.50°，不超过0.50°为好。

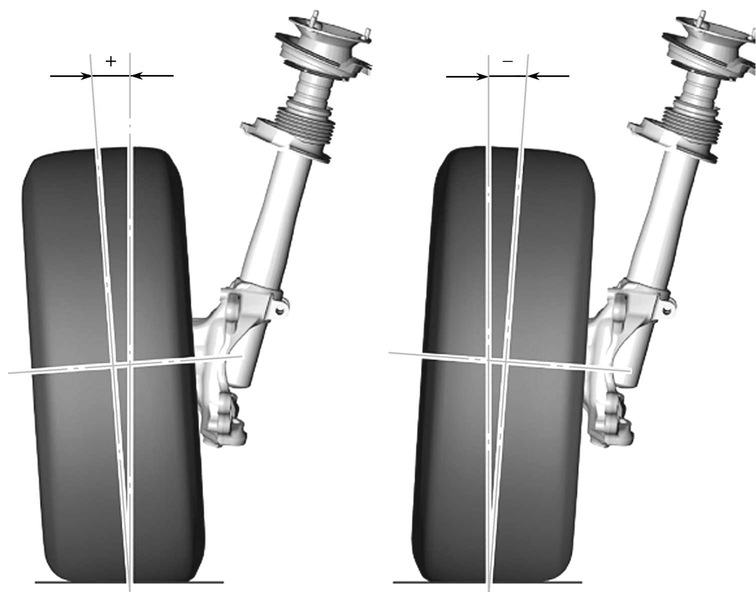


图1-131 正车轮外倾角与负车轮外倾角

5. 前束（TOE）

同一车桥上左右两个车轮旋转平面不平行时，前端距离比后端距离小时叫正前束。前端距离比后端距离大时叫负前束。

对每个车轮来说，前端偏向汽车中轴线为正前束，前端偏向汽车外侧为负前束。

前束的主要作用是保证车轮在汽车向前行驶时能向正前方平行滚动，前边已经讨论过，汽车必须要有车轮外倾角，而有正外倾角存在的情况下，汽车向前方行驶时，车轮类似滚锥，有向外滚开的趋势。由于有了前束，两前轮前端的距离比后方小一些，就能抵消车轮外倾角造成的滚锥效应。

轿车的车轮前束值一般都比较小，有的还为负值。这是因为前束是为了抵消外倾的滚锥效应导致的轮胎横向刮磨，使车轮保持纯滚动。车轮外倾角变小了甚至为负值时，前束也相应减小，且轿车广泛采用齿轮齿条式转向器，球关节少，向外张开的因素少，传统的考虑就不存在了。一般来说，正的外倾角应有正的前束来保证车轮向正前方滚动，负的外倾角多有负的前束来匹配，但并不绝对，因为还有主销内倾角和主销后倾角也对转向有影响。

在整体式前桥中，前束的调整是用管钳旋转横拉杆来进行的。横拉杆两端的螺纹，有一端是左旋，另一端是右旋，改变旋转的方向；就能改变横拉杆的长短。对独立悬架的轿车来说前束就要分别调整左、右两横拉杆，改变它们的长度就行了。要注意，独立悬架的汽车，不能支起前轮来调整前轮定位角，另外，要保证汽车在直线行驶时，转向盘应正好位于中间位置。

6. 包容角

主销内倾角和车轮外倾角的和叫包容角（INCLANGLE），在悬架系统没有损坏的情况下内倾角和外倾角会有变化，但是包容角通常不变。

有些车主销内倾角虽然一般都不能调整，但是主销内倾角、车轮外倾角和包容角的变化，能帮助我们判断悬架系统主要构件是否良好。如双横臂式（长短臂式）悬架的主销内倾

角正确，车轮外倾角小于标准值，包容角小于标准值，则说明转向节臂已发生弯曲变形。

7. 后轮推进角

随着汽车速度的提高，必须重视前后轮轨迹的重合性。只有轨迹重合，才能提高车速，使前后轮胎相对横向滑移量最小，轮胎的偏磨才能得以减小。当然，减小车轮外轴承的负担和提高安全性也是过去一贯的主张。所以，后轮也必须要有正确的外倾与前束。

车辆纵向中心平面是指与路面垂直且通过前桥和后桥轮距中心点的平面，如图 1-132 所示。

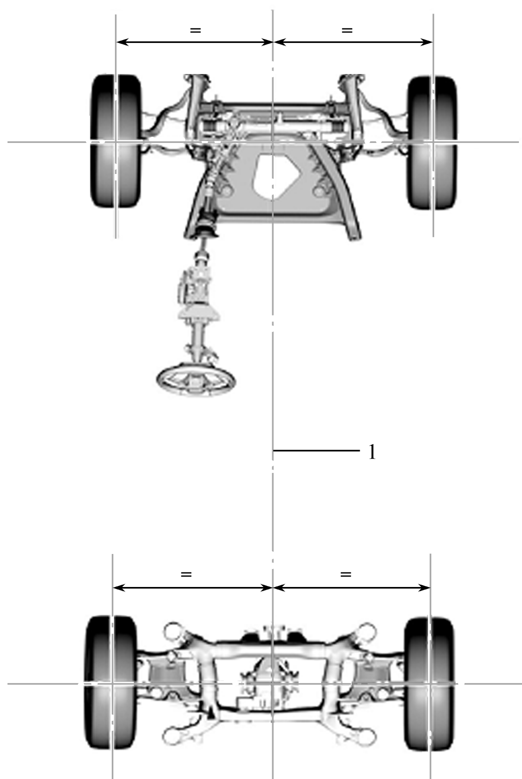


图 1-132　车辆纵向中心平面

1—车辆纵向中心平面

后轮推进线是指左右两后轮总前束角的角平分线，如图 1-133 所示。

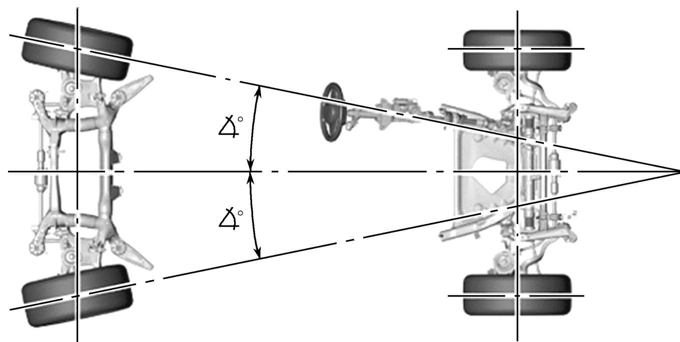


图 1-133　车辆推进线

推进角是指车辆纵向中心平面与后桥总前束角角平分线之间的夹角。一般规定，这个角平分线指向左前方时，该夹角为负；这个角平分线指向右前方时，行驶轴线偏角为正；如图1-134所示。推进角的存在，意味着推进线与车辆纵向中心线不重合，即后轮的行进方向与汽车纵向几何中心线不重合，后轮沿推进线给汽车一个力矩，引起汽车跑偏，这是汽车跑偏的一个重要原因。

推进角可由后桥的前束、侧向偏移和斜置（偏转）产生。

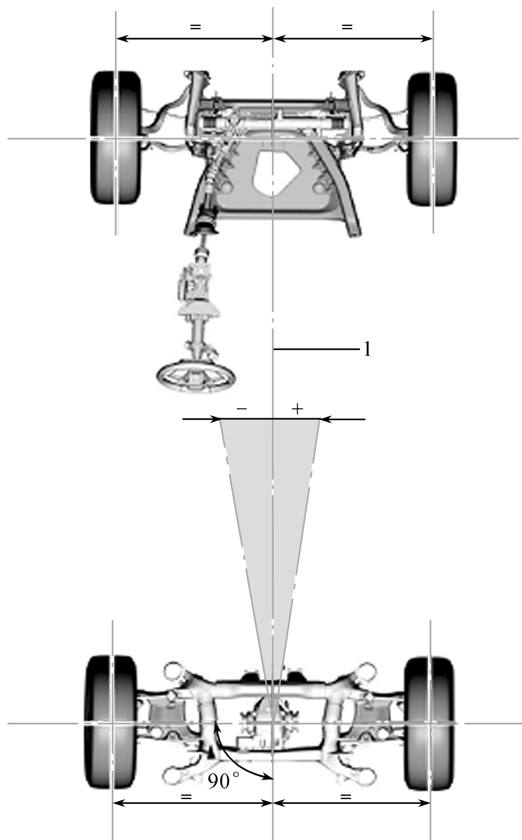


图 1-134　推进角

1—车辆纵向中心平面

后桥弹簧座磨损，后桥下悬臂胶套损坏，整体式后桥胶套损坏，均会引起后桥轴线与前桥轴线不平行，形成推进角，引起汽车跑偏，如图1-135所示。

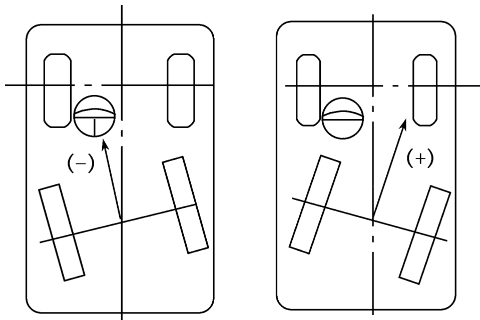


图 1-135　后桥轴线不正引起的推力线

即使两轴轴线平行，但当某轴的一侧车轮横向移位或两侧车轮同时向一侧横向移位时，仍会导致车辆底盘纵向几何中心线与后轮推进线不重合，前后轮轨迹的不重合，在特定情况下仍可能出现跑偏现象，如图1-136、图1-137所示。

当然，如果汽车后轮轴线没有偏斜，但是两

后轮的前束不一致，也会形成推进角（图 1-138），也会引起跑偏。

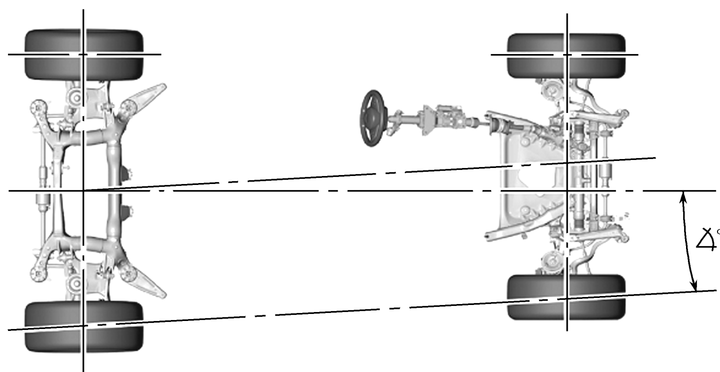


图 1-136　单侧车轮横向移位引起的推力线

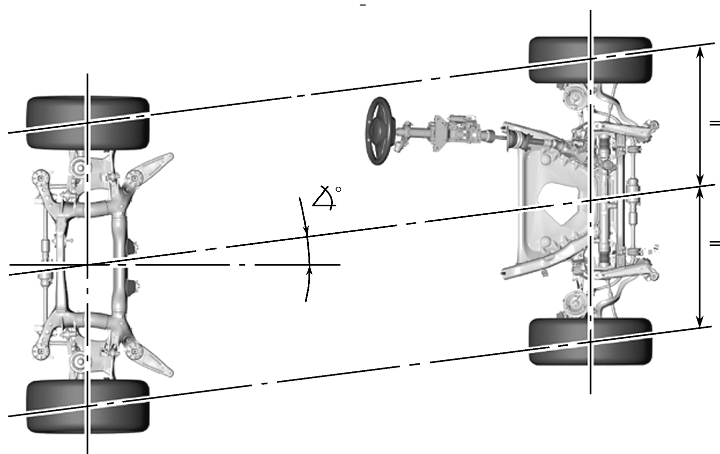


图 1-137　车轴横向移位引起的推力线

后轮前束角的计算方法与前轮前束一样，是两轮前束角的代数和。

总前束角＝前束角（左轮）＋前束角（右轮）

后轮的推进角是两后轮前束差值的一半。一般规定推进线朝左为负，朝右为正。

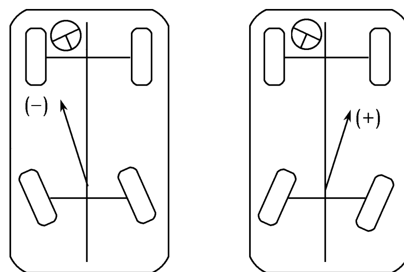


图 1-138　后轮前束失准引起的推力线

目前有些汽车后桥是整体式的，后轮垂直装在后桥上，不能调整前束和车轮外倾角。有的后桥虽然是独立悬架，但是前束并不能调整。这样，当后桥轴线有偏斜，或者后轮独立悬架的拉臂有变形，均会引起后轮前束失准，后轮的推进角就产生了。当后轮推进角大于 0.1°小于 0.4°，且后轮前束不能调整时，就应当用前轮前束来补偿，这叫做补偿四轮定位。

比如某汽车左后轮前束角为 0.20°，右后轮前束角为 0.60°，后轮推进角为（0.20°－0.60°）/2＝－0.2°。这将使汽车向右跑偏。为此，要把前轮总前束调为向左，即让右前轮前束角比左前轮大 0.20°。

一般前轮补偿为0.30°～0.40°，如果推进角太大，则应考虑校正或更换后桥或后悬架部件。

8. 转向角

当一辆汽车转弯时，前后轮必须绕同一转向中心转弯，转向弧度大小不相等，但是中心点相同，两前轮的中心线和后轮的中心线相交点即是共同的中心点，前轮的转向角度不相同，内侧车轮转向角度要比外侧车轮转向角度大，即转向前展（轮胎前端距比轮胎后端距大），影响转向前展的因素是转向节臂的角度。当测量转向角度时，测量之前，前束一定要正确。将转向盘左转，使左前轮转至规定角度（一般是20°时），查看右前轮角度，相差应在标准以内，否则需更换转向节臂。

转向前展角度就像内倾角和包容角一样，是诊断角，当顾客抱怨转向时有吱吱声或前束正确但轮胎磨损成羽毛状时，要检查转向前展角度。

9. 车轴偏角

另外还有一个诊断角是车轴偏角，国外有些资料叫“倒退角”或“滞后角”。车轴偏角是测量两个基本点车轮的平行度，即一个车轮较另一个车轮倒退一些，会导致跑偏及操纵不稳。测量车轴偏角时，要确定前束正确，因为不正确的前束，测量时会产生不正常的车轴偏角数值。当测量车轴偏角时，技师要遵循操作指示并且要非常谨慎，严重的碰撞事故会导致大的车轴偏角，进行四轮定位之前，可先在车身校正仪上校正后再测量。车轴偏角如图1-139所示。

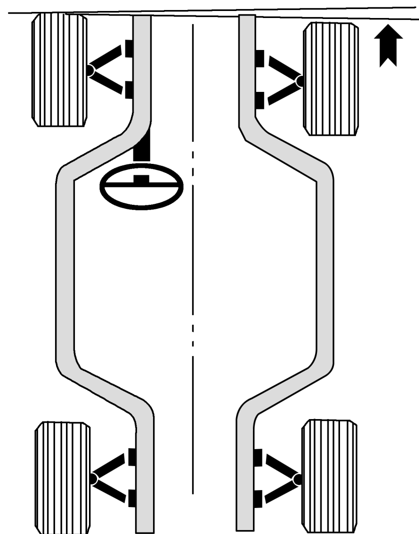


图1-139 车轴偏角

10. 悬吊高度（行车高度）

悬吊高度是衡量汽车底盘结构好坏的一个重要参数，是指地面到汽车底盘或车身某部位（具体测量部位详见维修手册）的高度值，一般来说，左右高度差值不应超过10mm。测量悬吊高度的时候，必须将汽车置于平坦的地面，轮胎气压正确，油箱满载。悬吊高度不正确通常可使弹簧疲劳和断裂，还可能造成操纵性能不良和轮胎磨损等问题，这是因为悬架系统的运动几何形状和原来的几何形状不同。一般要校正悬吊高度时，制造厂商都是留在最后来测量，如果悬吊高度不在厂商的规定范围之内则需要调整。如果车辆配备电子行驶控制系统，要等系统确实完成动作之后才可校正。带车身高度控制系统的车辆的调整参见前述。如果是扭杆弹簧独立悬架，可通过调整螺母调整两侧车身高度。

悬吊高度必须检查和校正，并且要在四轮定位之前完成，测量所有角度必须是悬吊系统在正常高度时测量的。各车型的悬吊高度需参照各自的维修手册，如2007款丰田凯美瑞的悬吊高度检查如图1-140所示。对于ACV40L－CEAGKA车型来说$A-B=125$mm，$C-D=54$mm；ACV40L－AEMNKW车型则为$A-B=117$mm，$C-D=42$mm。

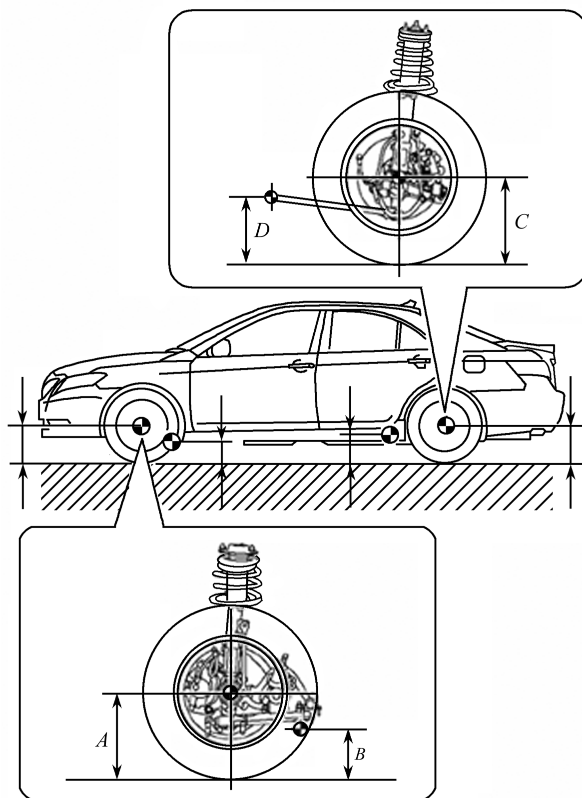


图 1-140　2007 款丰田凯美瑞的悬吊高度检查

ACV40L－CEAGKA：$A-B$＝125mm，$C-D$＝54mm

ACV40L－AEMNKW：$A-B$＝117mm，$C-D$＝42mm

11. 四轮定位前的初步检查

进行四轮定位前，在试车验证客户车辆存在的问题后应进行以下项目的初步检查：

1）检查充气压力是否合适，胎面磨损是否正常。给轮胎充气至合适压力。必要时更换轮胎。

2）检查车轮轴承是否松动。紧固车桥螺母至合适力矩。必要时，更换车轮轴承。

3）检查球节和转向横拉杆端头是否松动。如有松动，更换球节和转向横拉杆。

4）检查车轮和轮胎跳动量。测量并校正轮胎跳动量。

5）检查车辆悬吊高度。校正悬吊高度。

6）检查齿轮齿条式转向器安装是否松动。紧固齿轮齿条式转向器总成安装架。

7）检查滑柱工作是否正常、滑柱上支承座是否损坏，必要时更换滑柱及上支承座总成。

8）检查控制臂是否松动。紧固控制臂连接螺栓。必要时，更换控制臂衬套。图 1-141 为悬架系统常用的各种衬套。更换衬套时应注意其安装方向，如图 141a 中的装入网目板的衬套 A 向与 B 向的刚度是不同的。悬架系统导向机构的检查是解决各部件存在的松动、磨损松旷、弯、扭变形、装配调整错误等。对系统每个衬套都应认真检查，图 1-142、图 1-143 分别为丰田锐志轿车前、后悬架系统的各种衬套。

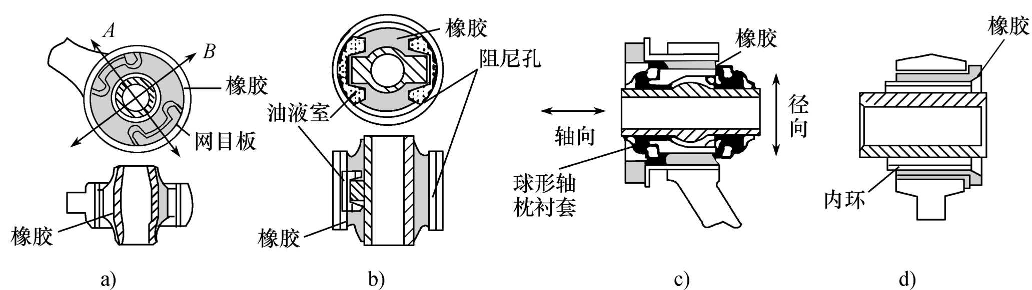


图 1-141　悬架系统常用的各种衬套

a）装入网目板的衬套　b）充油衬套

c）球形轴枕衬套　d）装入内卡环

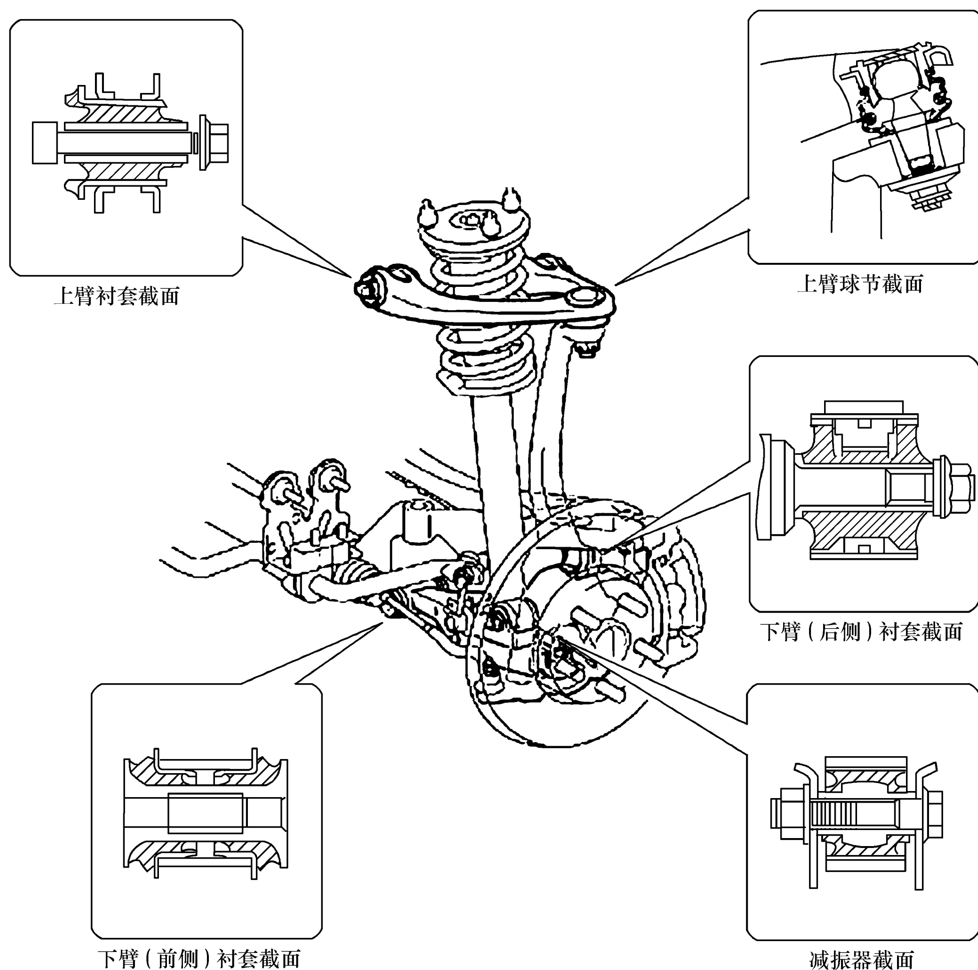


图 1-142　丰田锐志前悬架系统的各种衬套

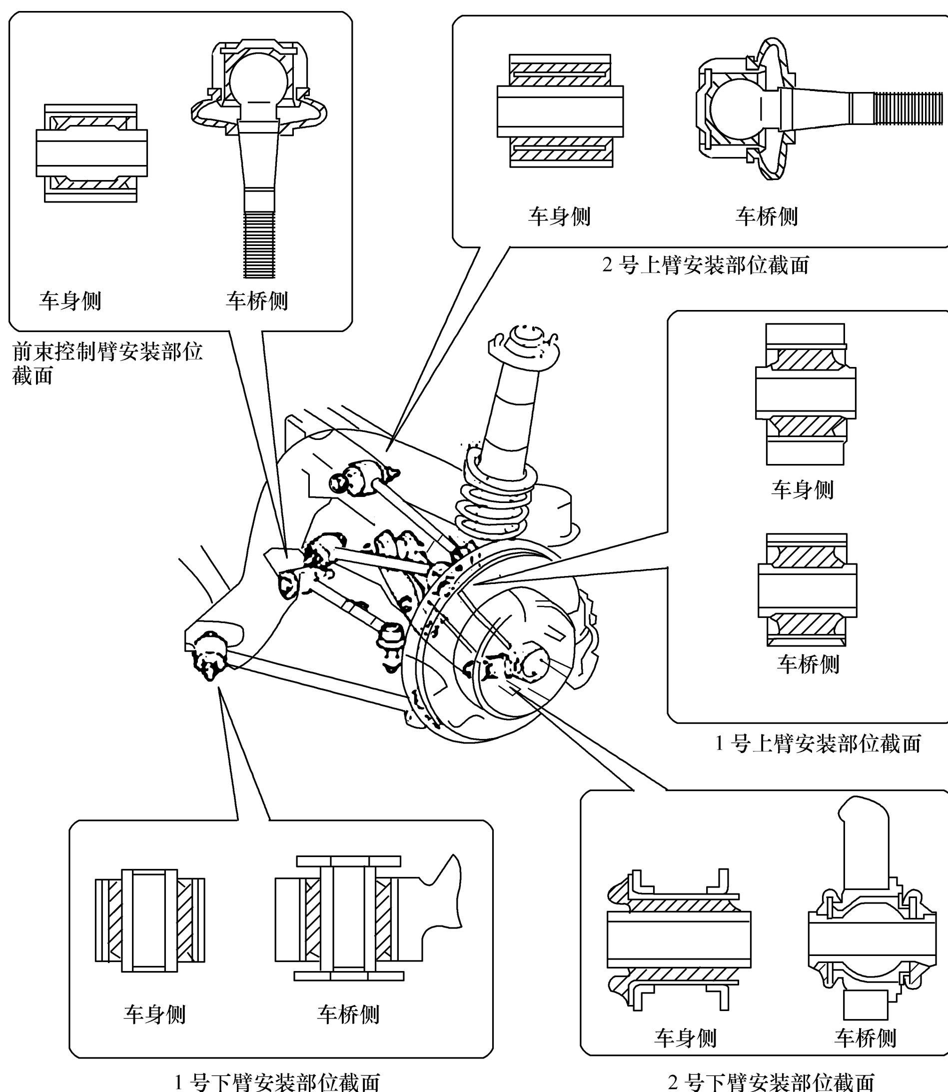


图 1-143　丰田锐志后悬架系统的各种衬套

9）检查转向柱与转向器之间的连接是否过松或磨损。紧固中间轴夹紧螺栓。必要时，更换中间轴。

10）检查转向器和连杆等零件是否过松或损坏。紧固转向器装配架螺栓。必要时，更换转向器。

11）检查轮胎是否失圆。执行自由跳动测试。配装轮胎或更换车轮。

12）检查轮胎是否失衡，对车轮做动平衡。

13）检查动力转向泵传动带张紧度。张紧动力转向泵传动带。

14）检查动力转向系统是否泄漏。还要检查动力转向液液面。修理泄漏故障，添加动力转向液。必要时，执行动力转向系统测试。

12. 车轮定位数据分析与车轮定位的调整

在充分了解底盘与角度理论之后还是不能够完全做好定位，还要学会分析数据，进行综合诊断，同时熟知悬架各调整点的位置和调整原理。

刚才讲的角度理论里面真正可调的角度一般只有三个：车轮外倾角、主销后倾角和前束。在分析数据时主要看这三个角度的测量值。

例如某桑塔纳轿车，测出前轮外倾角为前左－1.2°，前右－0.2°；主销后倾角为左＋0.8°，右＋1.8°；前束为左＋2.0mm，右＋4.0mm。从数据上分析单独看左右车轮外倾角车辆直行时可能右跑偏，单独看主销后倾角左跑偏。

综合分析可能出现忽左忽右，也可能低速左跑偏高速右跑偏，右跑偏原因在于车轮滚动半径不同，形成锥形滚动。再看前束，前束的总数为 6.00 毫米，从数据上看两轮胎的外侧会有明显吃胎现象，高速行驶会出现方向发飘。通过以上数据我们得知车辆状况，要想解决问题，只有将数据恢复到原厂范围值内。

又如有一辆汽车，维修单注明该车总是向左跑偏。进行路试确定故障后，测得数据如下：

定位参数	左	右	正常值	左右相差（左－右）
前轮外倾角	0.3°	0.2°	－0.25°～0.75°	0.1°
主销后倾角	4.6°	4.4°	2°～6°	0.2°
前轮前束	0.06°	0.06°	0°～0.06°	0
后轮外倾角	－0.6°	0.3°	－0.5°～0.5°	－0.9°
后轮前束	0.15°	－0.15°	－0.10°～0.10°	0.30°

由以上数据可以分析出，此车跑偏的原因主要是：后轮前束角左右不等，造成后轮推进线右偏，使车辆行驶时向左跑偏；后轮外倾角左右不等，车辆有向左跑偏的趋势；同时左前轮外倾角大于右前轮；综合的结果将使车辆行驶时向左跑偏。

不同车型，四轮定位角度的调整方法不一样。一般四轮定位仪内对许多车辆给出了外倾角的调整方法动画。下面是几种调整方法举例：

添加或减少主梁与控制臂间的垫片，如图 1-144 所示。

转动凸轮以将控制臂移进或移出，调整车轮外倾角，如图 1-145 所示。

对这类凸轮式调整结构，只需拧松控制臂上的锁紧螺母，然后将带偏心凸轮的螺栓向左或向右转动，即可增大或减小车轮外倾角。

改变控制臂定位孔与球头的连接位置来同时调整车轮外倾角与主销内倾角，如图 1-146 所示。

采用麦弗逊式独立悬架的车型，移动减振柱顶座或其支柱底部与转向节的连接位置，来同时调整车轮外倾角和主销内倾角或单独调整车轮外倾角。

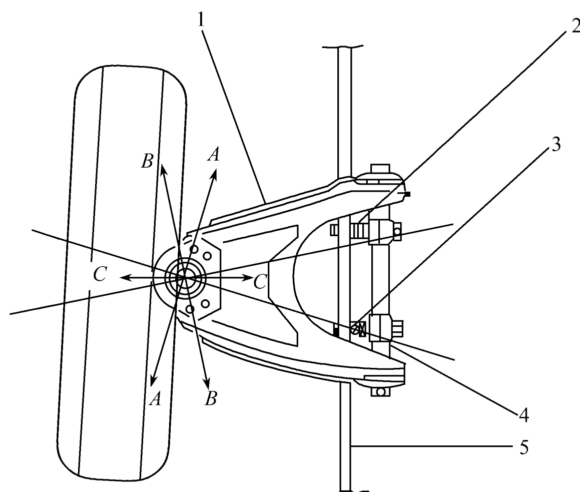


图 1-144　车轮外倾角和主销后倾角调整示意图（俯视图）

1—上摆臂　2—前调整垫片　3—后调整垫片　4—上摆臂轴　5—车架

A-*A*　前调整垫片厚度增加或减少时上球头销中心的运动；*B*-*B*　后调整垫片厚度增加或减少时上球头销中心的运动，*C*-*C*　前后调整垫片同时增加或减少时上球头销中心的运动

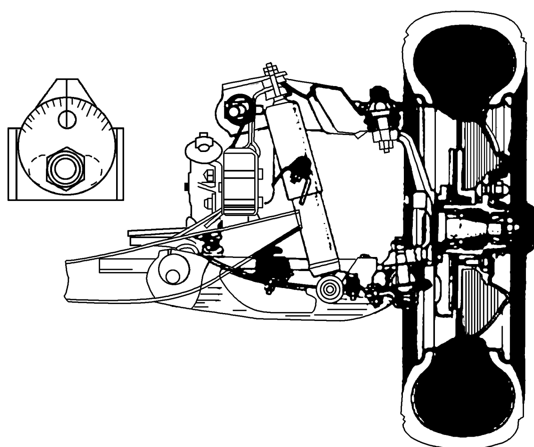


图 1-145　通过凸轮调整车轮外倾角

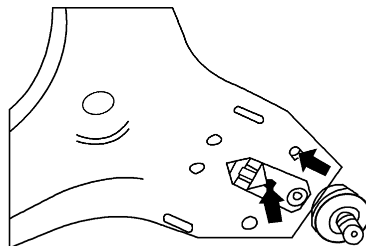


图 1-146　通过调整控制臂定位孔与球头的连接位置调整车轮外倾角

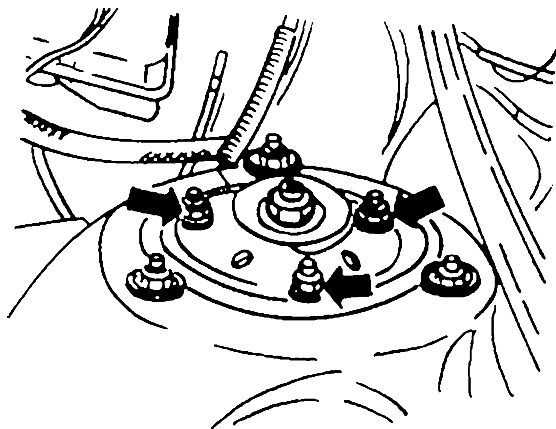


图 1-147　通过移动减振柱顶座调整车轮外倾角

如图 1-147 所示，车轮外倾角调整是通过移动独立悬架上部的悬架支座和悬架支柱的相对位置来实现的。其主销内销角也得到相应调整。

如图 1-148 所示，车轮外倾角调整是通过移动独立悬架支柱底部与转向节的相对连接位置来实现的。其主销内销角保持不变。

奔驰轿车上曾用到的主销后倾角和前轮外倾角调整方法如图 1-149 所示。

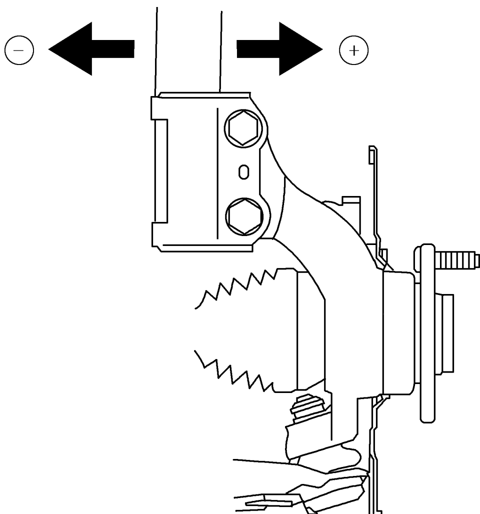


图 1-148 通过移动独立悬架支柱底部与转向节的相对连接位置调整车轮外倾角

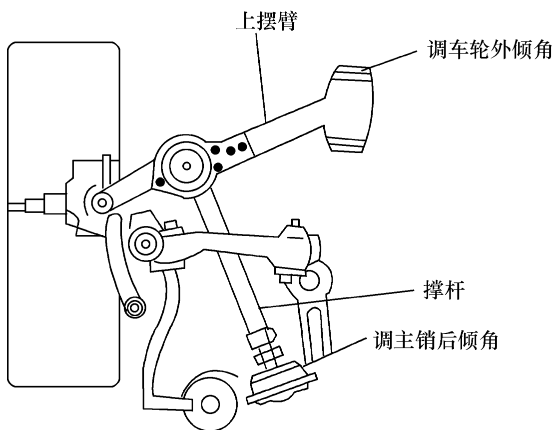
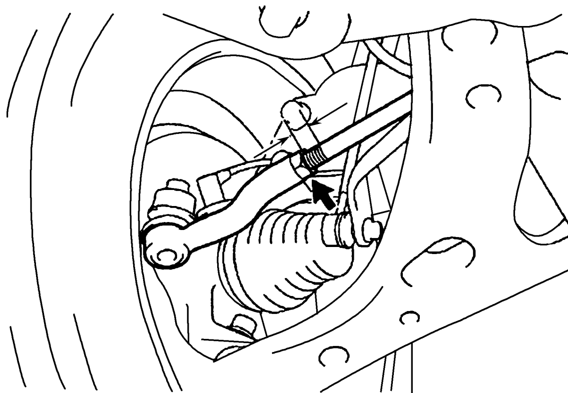


图 1-149 通过撑杆长度调整主销后倾角，通过上摆臂内端调整垫片调整前轮外倾角

前轮的前束角一般都可以通过调节转向横拉杆的长度来调整，如图 1-150 所示。


图 1-150 前轮前束的调整

车辆在不恰当的前轮前束角下运行，其故障将在轮胎磨损的方式中显示出来。前束角过大将引起轮胎外沿磨损，磨损部位呈锯齿状。当用手从内沿向外沿抚摸时，能感觉到尖锐的齿痕。前束角负值过大（后束）将引起轮胎内沿磨损。如果已形成锯齿痕，则当从外沿向内沿抚摸时能感觉到齿痕。严重的前束角故障可引起车辆“飘移”、失控、或者转向盘不正。

常见后轮外倾、后轮前束的调整方法如图 1-151、图 1-152 所示。

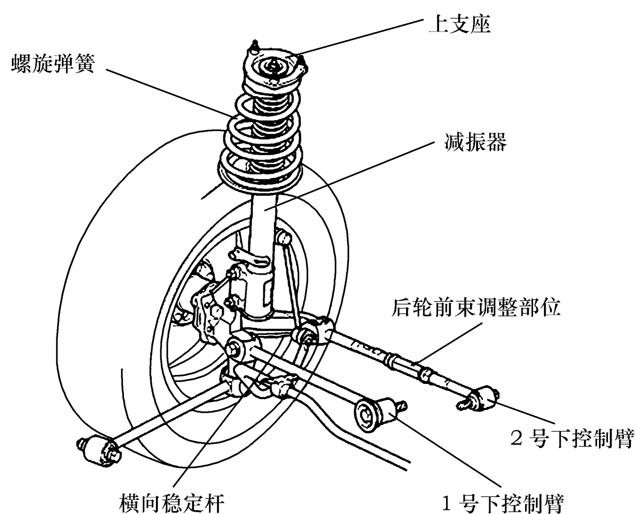


图 1-151　后轮前束的调整

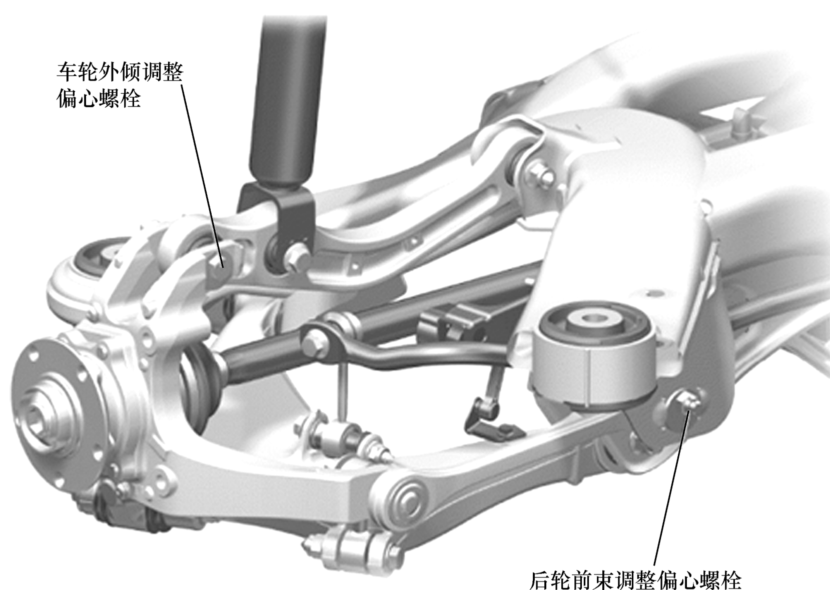


图 1-152　后轮外倾与后轮前束的调整

通过横向控制臂与后转向节连接处的偏心螺栓调整车轮外倾；后轮前束调整通过后控制臂与副车架上的偏心螺栓连接来完成

在进行四轮定位的调整时，必须按照以下步骤进行：后轮外倾角、后轮前束、主销后倾角、前轮外倾角、前轮前束。

（五）行驶跑偏原因分析

四轮定位参数对汽车的行驶稳定性和制动时的方向稳定性均有着很大的影响，这在维修实践中应予以重视。

1. 相关术语

做车轮定位的诊断、调节和修理时，首先应理解几个专业术语：车辆行驶时方向发飘、行驶跑偏、转向沉重、颠簸转向（跳动转向）、记忆转向、力矩转向和转向轮摆振。

1）行驶时方向发飘。指的是车辆不能长期保持直线行驶，车辆有时而漂向左侧、时而漂向右侧的趋势，方向不好控制，有时转向反应过于灵敏，轻微转动转向盘，车辆却向一侧漂移过多，有时又出现转向反应迟缓的现象。

2）行驶跑偏。指车辆行驶时自动地向左或向右偏驶，不能维持直线行驶，严重时必须紧握转向盘，若稍放松转向盘，车辆就自动向一侧跑偏的现象，严格来说它包括总是偏向一侧的恒定跑偏和在一定条件下的行驶跑偏（如跳动转向、记忆转向、力矩转向）。通常所说的行驶跑偏是指恒定的行驶跑偏。

3）转向沉重。指车辆行驶时，转动转向盘感到沉重费力的现象。

4）颠簸转向（跳动转向）。指前轮中的一只或两只在遇到路面凸起时有突然转向的趋势。车辆驶上隆起物或从隆起物上驶下时，一个车轮或两个车轮的前束发生明显的变化，导致车辆行驶方向剧烈变动，有的车可能只是扭动一下，有的车甚至窜入另一车道。它可看成是在一定行驶状态下的行驶跑偏。

5）记忆转向。完成转向任务并回正后，车辆仍有向刚才转向的一侧行驶跑偏的趋势，这种故障现象称为记忆转向。它是行驶跑偏的另一种表现形式。

6）力矩转向。力矩转向可以定义为汽车中、高速行驶中急剧加速时，汽车有向一侧跑偏的趋势。它也可看成是行驶跑偏的另一种表现形式。

7）转向轮摆振。指汽车行驶中在某种情况下转向轮围绕主销左右摆动或上下跳动，引起车辆摇摆蛇行、转向盘振抖、车身摇晃抖动，使行驶稳定性和操纵性变差的现象。

2. 车轮定位与行驶跑偏的检查诊断

四轮定位仪是专门用来测量车轮定位参数的设备。四轮定位仪可检测的项目包括：前轮前束、前轮外倾角、主销后倾角、主销内倾角、后轮前束、后轮外倾角、轮距、轴距、推力角和左右轴距差等。

（1）检测前的准备。把汽车开上举升平台，托住车轮，把汽车举升0.5m（第一次举升）；托住车身，把汽车举升至车轮能自由转动（第二次举升）；拆下各车轮，检查轮胎磨损情况，要求各轮胎磨损基本一致；检查轮胎气压，使其符合标准值；做车轮动平衡试验，动平衡完成后，将车轮装回车上；检查车身高度，检查车身四个角的高度和减振器技术状况，如果车身不平应先调平，同时检查转向系统和悬架是否松旷，如松旷则应先紧固或更换零件。

（2）利用四轮定位仪检测车轮定位的步骤　车轮定位是测量和校正转向和悬架系统状况的过程。为了安全和精确地控制车辆，正确的车轮定位是必不可少的。实施车轮定位检测前，应对悬架与转向系统进行全面检查。转向部件磨损过度或悬架部件弯曲变形将无法得到正确的车轮定位。弹簧下沉、断裂，车轮轴承磨损或松动也会影响车轮定位。

进行车轮定位前，首先应进行路试，注意有无跑偏、方向发飘、车轮摆振和其他转向问题，制动时这些问题是否有变化？是否车辆直线行驶良好而转向时感到不稳定？转向时是否一个方向好于另一个方向？这些都应在试车时注意到。最好设计一个试车程序，并记录各种行驶和转向情况。轮胎压力必须检查并调节，车辆也必须处在正确的行驶高度上。调节车轮

外倾角、主销后倾角和前束而不校正行驶高度可能不能解决轮胎磨损和操纵问题。不正确的行驶高度对前轮驱动车辆来说，可能引起振动，特别是在加速情况下。所有转向杆系中的零件，在检查时感到松旷的，都应更换。

行驶跑偏可能与车轮定位有关并稳定地（在任何时候）出现，也可能间歇地出现于车辆在某种特定条件下。在试车的过程中，应区分各种形式的行驶跑偏，并顺便检查一下有无制动跑偏现象。

在开始检查前应保证：

1）轮胎气压正确。

2）前后轮的轮胎尺寸都与轮辋相吻合。

3）车体高度在厂家提供的参考值范围内。

4）不存在制动拖滞现象，轮毂轴承预紧力合适。

接着检查前或后悬架零件松动或磨损；再检测四轮定位参数，并调整；如定位角度符合要求但车辆仍行驶跑偏，则给每一个轮胎和轮辋做标记，然后将两前轮互换。如此时跑偏方向改变，即可断定问题是出自轮胎而非车轮定位，应予更换新轮胎。

四轮定位参数不正确引起行驶跑偏主要是以下几点：

1）左右两轮外倾角不等。向外倾角较大的一边跑偏。

2）左右前轮主销后倾角不等。向后倾角较小的一边跑偏。

3）左右前轮主销内倾角不等。向内倾角较小的一边跑偏。

4）后轮前束失准等导致推进线不正，它将导致类似后轮转向的行驶跑偏。

进行四轮定位时，尽管有时左右两个前轮的车轮外倾角、主销后倾角都没有超过标准，但是它们的差值超过一定限度也要发生跑偏。所以应保证两侧车轮外倾角之差（有些书称总外倾角）为 0.50～1°，不超过 0.50°为好。同时还应保证两侧主销后倾角之差（有些书称总后倾角）在标准之内，一般为 0.5°～1°。

后桥钢板弹簧座磨损，后桥下悬臂胶套损坏，整体式后桥胶套损坏，均会引起后桥轴线与前桥轴线不平行，后轮的行进方向与汽车纵向几何中心线形成一个角度，叫推进角。后轮沿推进线给汽车一个力矩，引起汽车跑偏，这是汽车跑偏的一个重要原因。

当然，如果汽车后轮轴线没有偏斜，但是两后轮的前束不一致，也会形成推进角，也会引起跑偏。

后轮的推进角是左右两后轮前束角差值的一半。一般规定推进线朝左为负，朝右为正。当后桥轴线有偏斜，或者后轮独立悬架的拉臂有变形，均会引起后轮前束失准，后轮的推进角就产生了。当后轮推进角大于 0.1°小于 0.4°，就应当用前轮前束来补偿，这叫做补偿四轮定位。比如某汽车左后轮前束为 0.20°，右后轮前束为 0.60°，后轮推进角为（0.20°－0.60°）/2＝-0.2°。这将使汽车向右跑偏。为此，要让右前轮前束角在原基础上增大 0.10°，左前轮前束角减少 0.10°，这样右前轮前束角比左前轮大 0.2°。

高档次的四轮定位仪可测量车轴偏角（有些资料叫“倒退角”和“滞后角”），车轴偏角是测量两个基本点车轮的平行度，即一个车轮较另一个车轮倒退一些，会导致方向跑偏及操纵不稳。严重的碰撞事故会导致大的车轴偏角，四轮定位之前，可先在车身校正仪上校正后再测量。传统的检查方法是测量左右两侧的轴距差，小车应小于 3mm，大车应小于 5mm。左右轴距不等，汽车向前后两轴轴线交点的一侧跑偏，如图 1-153 所示。这也是引起

跑偏的主要原因之一。

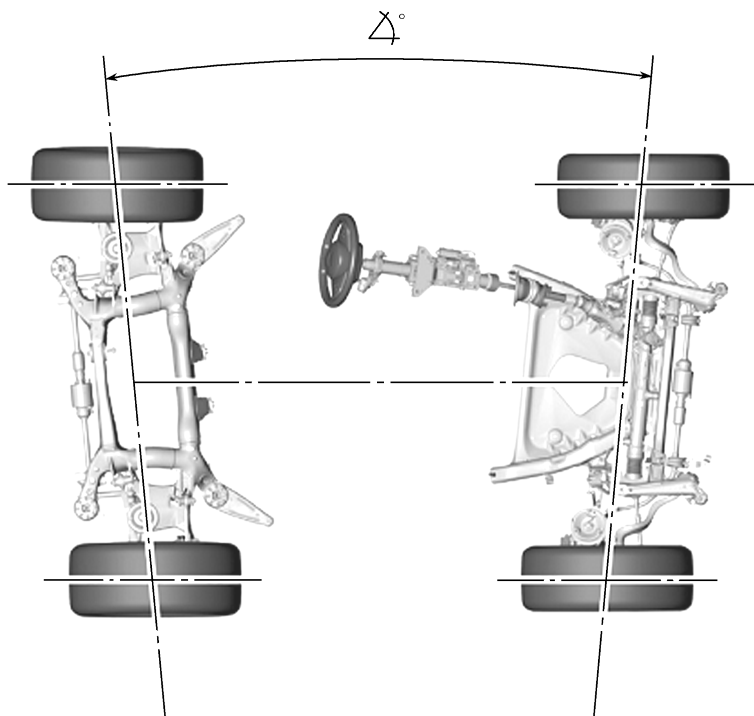


图 1-153 左右轴距不等引起的汽车行驶跑偏

在试车时注意每一次加速时跑偏是否更明显，而空挡滑行不怎么跑偏，说明此故障应为力矩转向。对前轮驱动汽车来说，一侧驱动轴常短于另一侧，故加速时，车辆将趋于向短驱动轴一侧转向。力矩转向总是和加速或施加动力有关，所以此时应考虑左右两驱动轮惯性矩（转动惯量）是否平衡，主要检查两半轴直径、重量是否符合要求等。

如在试车过程中发现存在颠簸转向（跳动转向）现象，则应检查左右转向横拉杆高度是否相等，如不相等，则其中一只横拉杆与下摆臂不平行。这种情形可能是由于梯形转向杆系中的转向摇臂或摇杆弯折、破损引起。在齿轮齿条转向系统中，磨损的转向器安装衬垫可能会导致一只转向横拉杆与下摆臂不平行。这样当车轮驶上隆起物时，前束将发生明显改变，引起车轮的突然偏转。另外，为纠正颠簸转向，还应检查行车高度是否变化或下沉。

如在试车过程中发现存在记忆转向的故障现象，则应区分故障发生在转向系统还是悬架系统。它通常是因转向或悬架部件咬合或磨损引起。转向部件或衬套发生咬合（卡滞）将阻止转向器顺畅地返回中心，会引起记忆转向。很多老式货车，若主销未做正常润滑，也会发生明显的记忆转向。为了判定问题发生在转向系统还是悬架系统，需从转向节上分离横拉杆，然后用手转动悬架以寻找咬合部件。咬合故障总是发生在承载部件上。如麦弗逊式悬架的减振器上轴承卡滞或损坏、减振器上轴承橡胶座磨损变形开裂、转向传动机构的球关节或主销无润滑或卡死、主销正后倾不足、转向器或齿条调节过紧、动力转向控制阀损坏、转向柱管轴承损坏等均是可能原因。有时候，转向器中的控制阀损坏，油液通向助力缸的一侧或另一侧，会使转向系统向一侧偏转。为检查这种情况可将车辆升离地面，起动发动机，若此时车轮向一侧偏转，则可推断控制阀或转向器损坏。如一辆福特水星 MPV，在行驶中向左

轻打转向盘变更车道后就有向左行驶跑偏的趋势，而当向右轻打转向盘变更车道后就有向右行驶跑偏的趋势，经检查，转向器齿轮齿条啮合间隙过小，调整后故障排除。

当两前轮主销内倾角不等时，不但会引起行驶跑偏，而且会导致紧急制动时在转向盘上产生严重的转动力矩而出现制动跑偏。具体分析请参见“制动跑偏”。

在轿车上，前悬架均为独立悬架，很多车在悬架系统没有损坏、变形时，其主销内倾角和车轮外倾角之和即包容角保持不变，其主销偏距一般也保持不变。通过从上控制臂部位、下控制臂部位、前减振器顶部改变车轮外倾角，将引起主销内倾角的相应变化，而主销偏距一般不会发生变化。保证车轮外倾角正确，也就相应地保证了主销内倾角正确。但当机件变形（如转向节弯曲变形）时，使车轮外倾角、包容角发生改变，主销偏距也发生改变，此时即使通过调整上控制臂部位、下控制臂部位或前减振器顶部使车轮外倾角左右相等，但主销内倾角左右不等，主销偏距左右不等。如果主销偏距左右不等，对前轮驱动车辆来说，会导致行驶跑偏，特别是在车辆突然加速时而产生明显的力矩转向，紧急制动减速时会向另一侧产生严重的转向拉力，这是由于驱动力和制动力方向不同造成。这种现象一般发生在经历较严重的事故后维修不完全、不彻底的车辆上。有些轿车的车轮外倾角是在减振器支架处进行调整的，如捷达车（图1-154），这类调整形式的车辆，其车轮外倾角可单独调整，即不会影响到主销内倾角。调整时，由于减振器顶部中心点及下摆臂球头位置基本不变，故主销内倾角不变，此时包容角发生改变，主销偏距也发生改变。如果调整不当，车轮外倾角左右不等，主销偏距也将左右不等，这样也有可能导致车辆加速时向主销偏距小的一侧跑偏，而急减速或制动时向另一侧跑偏，在一定车速下紧急制动也就出现转向盘向一侧急剧偏转的故障现象。这实际上主要是主销偏距左右相差较大造成的。

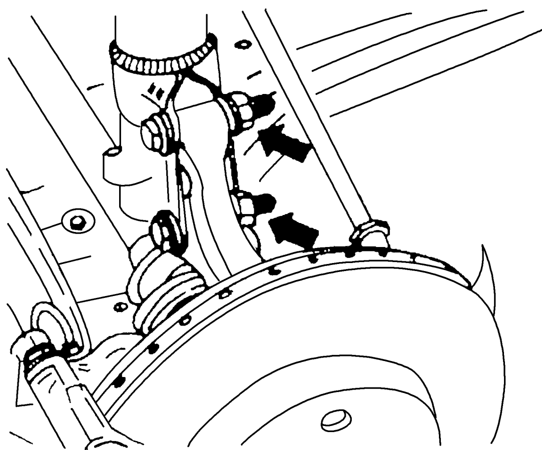


图 1-154　车轮外倾角的单独调整（捷达车）

大多数情况下的行驶跑偏可以通过转向、悬架系统的检修和精确的四轮定位来解决。有时尚需考虑到前述的力矩转向，这主要是针对前轮驱动车辆。因为前轮驱动汽车的一侧驱动轴常短于另一侧，如果两侧两半轴直径、重量不符合要求，就有可能使得两侧半轴齿轮到驱动车轮的旋转部分的惯性矩相差较大，由于差速器的差速特性，两侧车轮的角加速度、角速度可以不等，从而导致加速时行驶跑偏。这也就是我们看到的很多前驱车的左、右半轴直径、重量都有严格要求的原因，也就是要使左右侧旋转部分的惯性矩基本一致。

行驶跑偏故障原因牵涉的面很广，制动、转向、悬架、车轮及车轮定位等均可导致故障的发生。基本检查、路试及精确的四轮定位是诊断排除这类故障的重要方法，对车轮阻滞力、轮胎气压及磨损、左右轴距、转向和悬架系统零部件有无松旷、卡滞、错位、变形先做一基本检查，在路试中认真确认故障现象，仔细区分各种形式的行驶跑偏，结合精确的四轮定位，抓住故障原因的主要面，有的放矢地检查排除故障。当然，想迅速而准确无误地找到故障原因，这还有赖于我们对汽车理论的学习理解和故障排除实践经验的积累。

十、故障实例

1. 上海大众 POLO 事故维修后助力转向信号灯常亮

1）故障现象。上海大众 POLO 1.4L 三厢车，事故导致转向器损坏。维修并更换转向器总成后，助力转向信号灯常亮不熄。进入 44－02 读故障码，存在故障码 00816——动力转向传感器 G250 断路或对正极短路。更换动力转向传感器 G250、转向系统 ECU 后，检查相关线束，故障依然存在。

2）故障原因。更换的转向器总成型号不对。上海大众 POLO（波罗）的转向器总成有两种，其动力转向传感器 G250 的齿圈不同，一种为单排齿圈，另一种为双排齿圈，其对应的动力转向传感器 G250 也不同，不能互换。该车原来为双排齿圈的，更换的新转向器总成的动力转向传感器 G250 是单排齿圈的。

3）解决方法。更换双排齿圈的转向器总成或者更换与单排齿圈对应的动力转向传感器 G250。两种方法均可排除故障。

2. 锐志轿车转向沉重

1）故障现象。一辆 2006 款锐志乘用车，在行驶过程中，发现转向异常沉重，同时 P/S 灯点亮。

2）故障诊断与排除。读取故障码为 C1525、C1526、C1528。其含义是转角传感器初始化未完成；电动机旋转角度传感器故障。维修资料指出，当出现 C1528 故障码时，系统进入失效保护状态，动力转向系统停止工作。

用丰田专用检测仪 IT-II 清除故障码，C1528 可以清除，而 C1525、C1526 始终无法清除。再对转角传感器进行初始化，结果检测仪显示初始化失败，说明电动机旋转角度传感器确实存在故障。在拔下转角传感器接插器时发现其内部有进水的痕迹，插头已覆盖了一层绿色的铜锈，出现电腐蚀现象。插头进水使传感器信号发生短路，电动转向控制单元接收不到角度传感器信号，使电动助力转向系统进入保护状态，转向助力停止工作，控制单元同时记录故障码 C1528。故障排除非常简单，清除插头内的水分和铜锈，再用 IT-II 对电动机转角传感器进行初始化，P/S 灯不再点亮，转向盘转动轻松灵活，故障排除。

3）维修小结。电气接插件的防水问题应得到足够的重视。锐志转向系统使用了全电动方式，使转向系统结构大为简化，彻底解决了液压泵和转向器漏油这一传统转向系统的弊端。但随之而来的是电气系统的防水问题。转向器安装在车辆的最底部，在大雨天或浸水的路面上行驶可能使转向器的插头进水而使系统无法正常工作。虽然插头已经做了防水措施，但当其完全浸入水中时仍有进水的可能。该车的故障就是在雨天发生的，这一现象提醒我们的车主朋友在大雨天或涉水行驶时要特别小心，尽量躲开深水区，防止转向系统的电气插头进水而引起故障。

3. 桑塔纳 2000GLi 行驶跑偏

一桑塔纳 2000GLi 进厂维修，车主反映车辆行驶时经常向左跑偏，但也曾出现过几次向右跑偏，有时也不跑偏。当出现跑偏时，不论是向左还是向右行驶跑偏，均须用手把住转向盘，不能松手，一松手立即跑偏，故障非常明显。

经初步检查，左右前悬架下摆臂球头未见松旷，下摆臂胶套也正常，左右轮胎磨损也一

致。检测四轮定位参数也在标准范围内，且左右相差不大，至少未达如此严重行驶跑偏地步。

将两前轮左右对调再试车。试车时未见行驶跑偏，在平直路面上把手完全松开转向盘，汽车也能保持直线稳定行驶，低中高速都不见异常。遂于红绿灯处掉头回厂。结果掉头后就出现了汽车向左跑偏，跑偏现象明显，加速时感觉更明显，空挡滑行仍跑偏，车速越快，跑偏越严重。把转向盘略向右打，松手后车辆仍然立即向左跑偏，这说明故障不是由于转向器啮合间隙过小或转向轴有卡滞现象造成。此时在较高车速下右拐 90°进入另一条路继续路试，转弯后即发现车辆已不再行驶跑偏了。看来这是一个记忆转向的故障。遂采用右转弯掉头方式回驶。不出所料，车辆又出现了向右跑偏的现象，在每次的转向回正过程中，感觉转向盘的自动回正功能良好。随着一次较急的左转向后车辆又不再跑偏。反复进行以上方式的试车，情况一样，可以肯定这是一个典型的记忆转向故障。心里盘算着必是前悬架有松旷造成，回厂后只需检查四轮定位参数，再左右转动转向盘至极限几次，然后再次检查四轮定位参数，前后两次对比，应有所发现。

回厂后检查四轮定位参数，未见异常，把转向盘左右转至极限，反复几次，然后再次检查四轮定位参数，前后两次几乎无差别。

再次检查前悬架有无松动，只是觉得两前减振器顶部碗状轴承总成的橡胶磨损老化，但也没达到完全裂开的地步。但从原地转动转向盘前后检测定位参数不变来看，不能确诊故障原因究竟是不是碗状轴承总成橡胶老化开裂。

为进一步确定故障原因，先用简单的工具（重锤、钢直尺）检查两前轮外倾角，路试出现跑偏后再检查前轮外倾角。果然发现在急转弯后，外转向轮外倾角减小，内转向轮外倾角相应增大，这意味着左右前轮的主销内倾角、车轮外倾角在急转向后不再相等，因而出现行驶跑偏。故障原因是前减振器顶部碗状轴承总成的橡胶老化开裂。

更换后，故障立即排除。更换的前减振器顶部碗状轴承总成如图 1-155 所示。

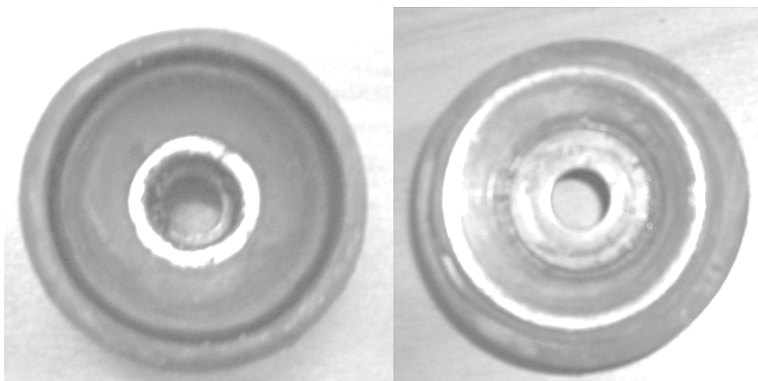


图 1-155　橡胶老化开裂的前减振器顶部碗状轴承总成

现将故障产生的机理分析如下：

此车采用麦弗逊式悬架，它没有传统的主销实体，主销轴线为下摆臂球头中心 B 与减振器顶部碗状轴承总成形成的铰链中心 A 的连线（参见图 1-156 中所示）。桑塔纳轿车前减振器顶部的推力轴承橡胶支座总成处实际上是一个球铰链，除了上部有一个圆锥形垫和螺母

将减振器活塞杆拉住外，无其他约束，减振器及转向节总成可以像钟摆一样摆动。

而大部分其他轿车的前减振器顶部的推力轴承橡胶支座一般有3个螺栓螺母起定位作用，前减振器顶部不再是一个球铰链，减振器的摆动受到一定的限制。正是因为桑塔纳轿车的这种结构，使得其前减振器推力轴承橡胶支座较其他车更易出现磨损松旷、橡胶开裂的现象。主销轴线 AB 与减振器支柱轴线并不重合，车轮在运动过程中所受的侧向力经转向节，大部分由下横摆臂承受，其余的小部分由减振器承受。车轮上下跳动时，下球头 B 点随下摆臂摆动，因而使主销轴线 AB 也随之绕 A 点摆动，这说明车轮沿着摆动的主销轴线而运动，其车轮外倾角和主销倾角及轮距均有轻微变化。因有小部分侧向力由减振器承受，故减振器活塞杆与缸筒的运动有一定的滑动摩擦。

此车由于减振器轴承橡胶支座橡胶老化、有开裂趋势，承载后，橡胶发生变形和位移，支承点 A 的位置将发生些许变动，影响其前轮定位参数。此车在转弯掉头时，受离心力作用，地面将对车轮作用一个侧向力（向心力），此时虽然车速不太高，但转弯半径较小，故离心力相对较大，侧向力也就较大，两前减振器均受到一定的向内的横向力作用，外转向轮一侧减振器处于压缩状态，而内转向轮一侧减振器有伸张趋势。

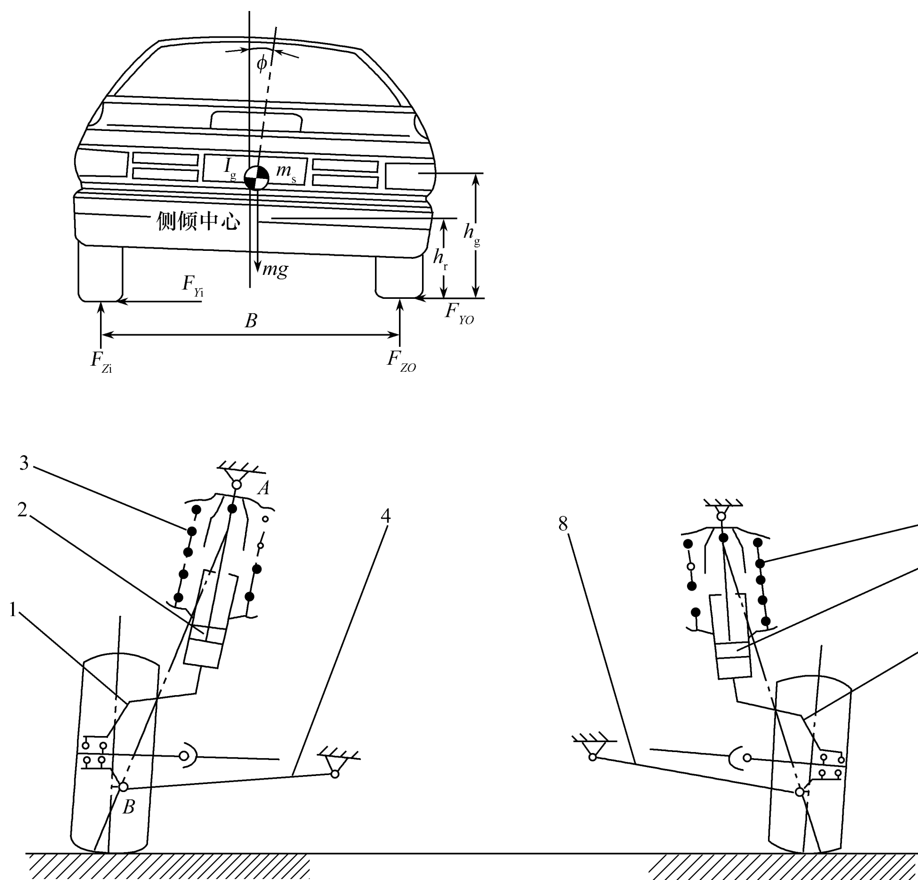


图1-156　故障产生的机理分析

1—左转向节　2—左前减振器　3—左前悬架弹簧　4—左前悬架下摆臂　5—右转向节　6—右前减振器　7—右前悬架弹簧　8—右前悬架下摆臂

其侧向力作用的结果将使得两减振器上支承座 A 点向内（转向中心一侧）移动，这样也就使外转向轮的外倾角变小而主销内倾角变大，内转向轮的外倾角变大而主销内倾角变小。转向回正后，其 A 点不能恢复到原来位置，自然就导致车辆向刚才转向的方向行驶跑偏。当原地转动转向盘时或以较小的转向角度转向（如变更车道）时，侧向力不足以使减振器上支座 A 点横向移动，故不会导致定位参数的变化，也不会引起行驶跑偏。出现行驶跑偏后，再在较高车速下以较大的转向角向相反一侧拐弯后，在较大的侧向力作用下，减振器上支座 A 点又恢复到正常的原始位置，此时车辆不再行驶跑偏。如果侧向力再大一些，则会引起向另一侧的行驶跑偏。在我们实际驾驶车辆时，左转弯掉头的情况比右转向掉头的情况多，且在同样的道路条件下，我们习惯于以较高车速左转向，右转向时车速通常较低，这就是车主觉得此车较易发生行驶时向左跑偏的原因。我们通常可以把这种转向再回正后车辆向刚才转向的一侧行驶跑偏的故障现象称为记忆转向。

4. 捷达轿车行驶途中自动跑偏

1）车型。捷达轿车，装用 ACR 发动机，1998 年 1 月生产。

2）故障症状。车主说该车轮重新定位过，前束也调整过，4 个轮胎气压均符合标准，但是向右跑偏的故障一直没有排除。

3）诊断与排除。对该车进行路试，当空挡滑行或低速时跑偏现象消失，在加速或高速时跑偏现象明显。测量该车前束及倾角，均正常，轮胎气压也符合标准值。对换左右轮胎，试车，仍向右跑偏。看来该车跑偏是由于左右车轮所受力矩不平衡而产生的。

捷达轿车力矩不平衡产生汽车偏向的主要原因有：①两前轮制动阻力的微小差别也会增大力矩不平衡，导致偏向的趋势，这时应主要检查前轮摩擦片及制动盘磨损是否一致。②前悬架或转向横拉杆端头松紧度有差别。握住转向横拉杆来回推动，就能感觉到是否有较大松动。③橡胶胶套特别是控制臂衬套老化或开裂变形，导致两轮受力不平衡。④副车架或控制臂及车身受力变形。⑤前悬架高度不一致，主要是减振器或减振弹簧引起的。

我们按上述可能故障原因依次检查，但未发现异常。那么故障究竟出在哪里呢？如此怪异的故障还是第 1 次遇见。我们再次进行仔细检查，检查到前悬架时，发现该车右传动半轴比正常的偏细。询问车主是否更换过传动轴，车主说前段时间半轴磕碰后曾更换过。拆下该传动轴，发现它不仅比原厂配件细，而且轻了许多。重新更换标准配件后试车，跑偏故障排除。

由于捷达轿车传动轴不是等长半轴，所以力矩不平衡致使偏向的程度比较大。为了尽量降低力矩不平衡产生偏向的可能性，捷达轿车传动半轴的直径及其重量均有严格的要求，如果使用不符合标准的配件，力矩不平衡致使偏向程度将明显提高，而且故障原因不易查找，请广大维修人员对此予以重视。

5. 富康高速行驶转弯时甩尾

一辆富康 ZX 轿车行驶已超过 20 万公里，在高速行驶转弯时车身后端产生甩尾现象。

ZX 轿车的后桥与车身连接处，左右各装有一个转向软垫（螺栓与橡胶连接的弹性件），当车辆转弯时，它可克服由于转向产生的离心力，使车身保持平稳。开始时怀疑后轮轴承和摆臂等松旷，但经检查均属正常。后来将车辆举起，用撬棒插入后悬架与车身连接处，稍用力撬动，发现转向软垫的橡胶与金属构件间已经开裂，故车辆转弯时使车身向反方向晃动，使人感觉有甩尾现象。更换损坏的转向软垫，车身甩尾现象随即消除。

6. W220 奔驰车右前车身过低

一台 W220 奔驰车右前轮的悬架过低，车主怕继续行驶会损坏车辆，故拖车进厂维修。

首先，从外观上看，该车右前轮悬架明显低于其他车轮的高度，但未完全“趴下”。着车，反复转动转向盘至两端极限（此举是为了激活转向角传感器），高度未见恢复。熄火后重新起动发动机，故障灯熄灭，但车辆一起步，故障灯又重新亮起。

由于该车的主动车身控制系统较为先进，结构原理也较为复杂，原厂提供的是英文资料，判断故障时首先应对 ABC 系统的结构原理做系统的了解与分析。故在为车辆进行维修之前，结合英文资料对该车的 ABC 系统的结构和原理做了一番分析。

该车是带有 ADS（自适应阻尼系统）的 ABC（主动车身控制系统），主要可分为液压控制回路与电子控制系统。其液压控制系统主要由径向活塞式液压泵、前/后储压器、液压油冷却器、前/后悬架支柱、油压供应阀单元、前阀门单元、后阀门单元等组成。液压控制回路的主要部件在车上的位置如图 1-157 所示。

其电子控制系统的主要部件在车上的分布如图 1-158 所示。

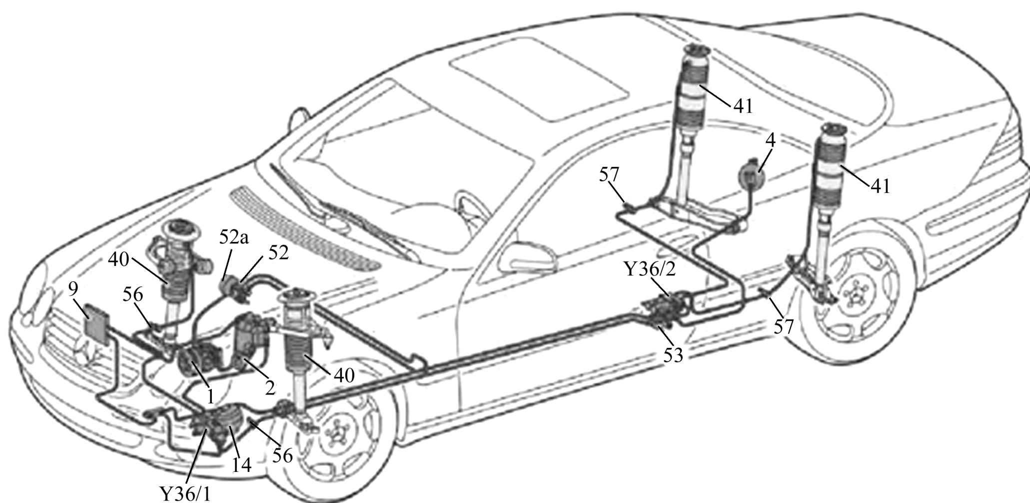


图 1-157 ABC 液压控制回路主要部件的分布

1—径向活塞式液压泵 2—储液罐 4—后储压器 9—液压油冷却器 14—前储压器 40—前悬架支柱 41—后悬架支柱 52—油压供应阀单元 52a—油压脉动衰减器 53—回流储压室 56—前排气螺钉 57—后排气螺钉 Y36/1—前阀门单元 Y36/2—后阀门单元

主动悬架控制（ABC）控制模块与其他系统一样，通过控制器区域网络 CAN 连接，并根据系统所需，从各个相关系统中接收输入信号。主动悬架控制主要从自动变速器控制（ETC）模块、电控车辆稳定行驶系统（ESP）控制模块、发动机控制模块（ECM）、分电式分火系统（DI）控制模块、舒适型和运动型开关、水平控制开关、左前信号采集及促动控制模组（SAM）控制模块等系统中接收输入信号，再结合 ABC 系统中的各个传感器，通过系统控制模块的计算、处理，来决定必须控制何种控制功能，并将处理后的信号传送给相对应的执行器，进行系统的操作，达到其控制的目的。

该系统液压回路的工作图参见图 1-119。

ABC 主动车身控制系统的主要部件及其功能如下所述。

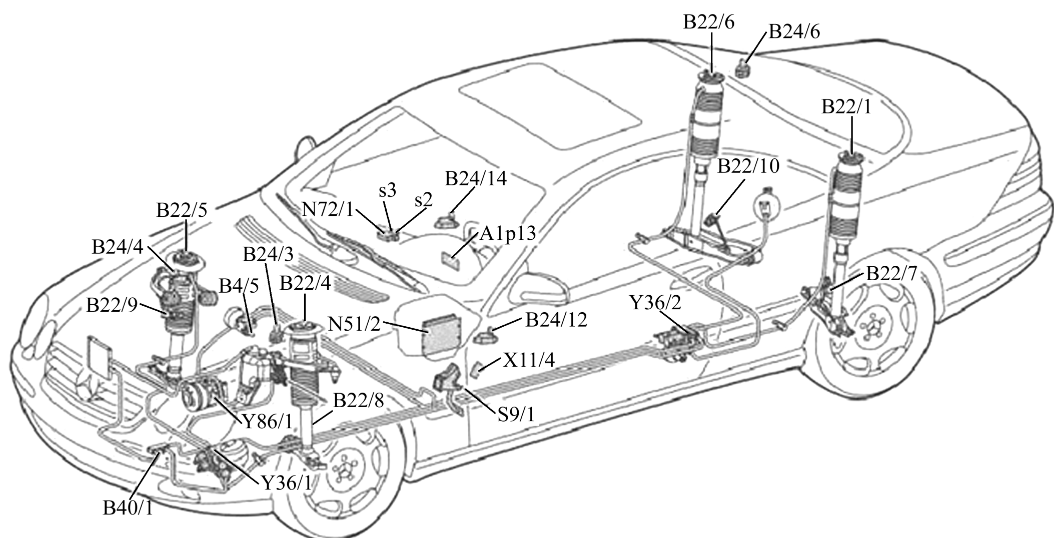


图 1-158 ABC 电子控制系统主要部件的分布

A1p13—多功能显示屏 B4/5—ABC 系统油压传感器 B22/1—左后支柱柱塞行程传感器 B22/4—左前支柱柱塞行程传感器 B22/5—右前支柱柱塞行程传感器 B22/6—右后支柱柱塞行程传感器 B22/7—左后水平传感器 B22/8—左前水平传感器 B22/9—右前水平传感器 B22/10—右后水平传感器 B24/3—左前车身加速度传感器 B24/4—右前车身加速度传感器 B24/6—右后车身加速度传感器 B24/12—ABC 横向加速度传感器 B24/14—ABC 纵向加速度传感器 B40/1—ABC 油温传感器 Y36/1—前阀门单元 Y36/2—后阀门单元 Y86/1—ABC 吸入限制阀 N51/2—ABC 控制模块 N72/1s2—水平调整开关 N72/1s3—“舒适”与“运动”模式开关 S9/1—制动灯开关（4－pin） X11/4—数据传输连接器

1）ABC 主动悬架控制模块。执行主动悬架控制模块的所有功能，收集各传感器信息，综合处理并向各执行器发出电信号，实现电子控制功能。由信号调节、功能逻辑部件、安全电路等组成。

2）加速度传感器。感应车身加速度，提供给控制模块一个车身垂直加速度的计算值。

3）水平传感器。该传感器为霍尔式传感器，通过检测横向控制臂的位置来确定各个车轮处的车身水平高度，将数值以电压形式传送给控制单元。

4）ABC 压力感应器。检测系统压力（系统压力由径向活塞泵吸入的量决定，通过吸入限制器阀来控制）。

5）ABC 油温度感应器。用来感应系统油温，监测油冷却器的工作情况。

6）ABC 纵向/横向加速度传感器。用来计算俯仰移动及侧倾移动。

7）ABC 吸入节流阀。控制系统中径向活塞泵吸入的量。

8）前/后轴阀装置。根据水平高度信号及弹簧支柱总成的移动信号，由控制单元输出的阀控制数据，完成控制弹簧的调节功能。由两个控制阀（三位四通电磁阀）和断流阀（二位二通电磁阀）组成，控制阀控制流入和流出弹簧支柱的油，断流阀防止车辆停止时车身高度降低。

9）悬架。控制模块依据高度位置、车身垂直加速度、纵向和横向加速度及车辆速度来确定特别优化的悬架和减振特性。通过对每个车轮的控制阀的控制，使每个车轮的流量符合

特定的要求。

系统控制模块收集来自各个传感器的信号，计算处理后，输送给四个控制阀、四个断流阀和一个节流阀。

根据系统的结构及各部件的工作原理，不难分析故障范围应为右前轮的水平传感器及右前轮阀装置。接上专用检测电脑，对该车的底盘系统进行了检测。测出故障码：C1132（即右前轮水平高度），右前轮悬架高度及悬架故障停止工作。检测电脑要求检查是否系统泄露，经检查无泄露。由于右前轮水平高度已经是不达标的，因此，检测电脑的“水平高度”故障不一定就是水平高度传感器。连接上检测电脑，进入底盘系统，先将原来的故障码清除。重新起动发动机，检测电脑进入悬架系统读取数据流。按下升高悬架开关，观看四轮车轮的悬架升起过程中水平传感器的变化，这时发现右前轮水平传感器变化较快，并且比其他三个传感器早一步停止了变化，而此时右前轮的高度比其他三个车轮的高度要低得多。检查水平传感器，发现水平传感器的横向控制臂有松动现象。看来正是由于右前轮水平传感器控制臂松动，向 ABC 控制单元传送了错误的高度信号，ABC 控制单元从有误的水平高度信号中处理、计算后，停止了右前轮弹簧支柱控制阀的工作信号，使得该轮的悬架高度达不到要求。

更换水平传感器，清除故障码后进行路试，故障排除。

7. 三菱帕杰罗 PAJERO V33 严重跑偏

1）故障现象。帕杰罗 V33，行驶里程超过 25 万千米。直线行驶时必须紧握转向盘，否则立刻向右跑偏。

2）故障诊断。检查转向系统、制动系统及行驶系统均无明显异常。该车采用发动机前置后轮驱动形式，不等长双横臂前独立悬架，下控制臂是非“I”字形 A 架结构，在上控制臂处可用调整垫片的方式来调整前轮外倾角和主销后倾角。后悬架采用非独立悬架，定位参数不可调。

因为理论分析和实践证实，对于后轮驱动的汽车，前轮主销后倾角左右差异太大是引起跑偏严重的主要因素。因此我们推断对于此车主要是因为右前轮主销后倾角过小引起直行时偏右严重。

3）故障排除。用元征四轮定位仪检测后的数据证实了我们的推断，右主销后倾角竟然为$-2°25'$，左边是$1°21'$。其他数据均无太大异常。如果能够想办法使右侧数值靠近左侧数值的话，问题应能得到解决。那么应采取什么样的办法来调整呢？

根据帕杰罗 V33 的维修手册，在前悬架上摆臂的前端垫片厚度不变的情况下，后端每增加 1mm 的垫片，则主销后倾角增加约$27'$，根据这些数据，我们可以计算出使$-2°25'$靠近$1°21'$，应在右上摆臂后端增加垫片的厚度：

$$[1°21'-(-2°25')]/27'\times 1\text{mm}=8\text{mm}$$

这样，就只在右上摆臂后端加 8mm 的垫片，而前端的垫片厚度不变，再用元征四轮定位仪检测，则数据显示两边的主销后倾角值已基本接近了，重新调整前束角后试车，故障已彻底排除，车主相当满意。

4）故障总结。那么是什么原因造成主销后倾角变小甚至变负了呢？

汽车在行驶过程中，使下摆臂向后窜动的倾向有多种原因，但主要是紧急制动、不同程

度的碰撞、还有上路肩太猛等因素影响较大，在这种情况下，下控制臂和车轮已减速或制动，但车身因惯性仍向前运动，下控制臂必然要被向后推动，久之，后倾角便变小甚至变负了。

大家知道，汽车前轮设置主销后倾角的目的是为了使转向盘稳定和自动回正转向盘，以保证汽车稳定的直线行驶，当两前轮主销后倾角都变得太小时，会因转向盘稳定性能变差而导致方向发飘。

另一种情况，因转向轮左右两边主销后倾角变化不均使两边角度相差太大，这样两前轮自动回正能力差异就会太大，从而导致两前轮直行时行驶阻力差别太大，后倾角太小的前轮比后倾角大的前轮阻力要大得多，从而有直行时偏向后倾角太小一边的倾向，这样便出现了直行时跑偏的故障。

根据具体情况进行具体分析，结合实践经验，抓住主要问题才能有助于最终解决问题，否则的话则有可能始终陷入困境。

第二章　制动系统故障的诊断与分析

汽车制动系统常见的故障主要有：制动不灵、制动失效、制动跑偏、制动拖滞、制动时制动踏板抖动、无 ABS 功能、制动时异响等。

由于轿车上一般均采用带 ABS 的液压制动系统，以下内容主要针对液压制动系统。

一、制动不灵故障的诊断与分析

1. 制动不灵的故障现象

汽车行驶中制动时，驾驶员感到减速度小；汽车紧急制动时，制动距离长。

2. 故障主要原因

造成制动不灵的原因主要是：

1）制动踏板自由行程太大，应予调整。

2）增压器、助力器效能不佳或失效，应予修理或更换。

3）储液罐制动液不足或变质。

4）制动管路中有空气，或油管凹瘪，软管老化、发胀导致内孔不畅通。

5）制动主缸、制动轮缸的皮碗或密封圈、活塞、缸壁磨损过甚，导致泄漏。

6）制动鼓磨损过甚，或制动间隙调整不当，应予更换或调整。

7）制动器摩擦片与制动鼓（制动盘）的接触面积太小，制动蹄摩擦片质量欠佳或使用中表面硬化、烧焦、油污，铆钉头外露。

8）ABS 液压调节器不良或 ABS 电控系统不良。

9）制动回路中的各液压阀不良。

3. 故障诊断与排除

1）检查制动踏板高度、自由行程、踏板余量，如图 2-1 所示。

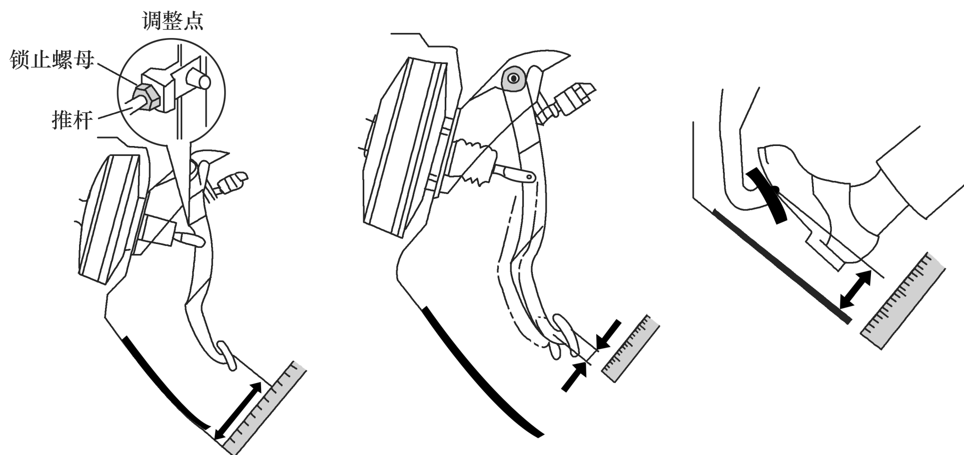


图 2-1　检查制动踏板高度、自由行程、踏板余量

① 制动踏板自由行程的检查。发动机停机后，踩下制动踏板几次（对于配备了液压制动助力器的车辆，至少要踩下制动踏板 40 次），以便解除制动助力。然后，使用手指轻轻按压制动踏板，使用一把直尺测量制动踏板自由行程。制动踏板自由行程实质是制动踏板推杆 U 型连接叉转轴销的间隙、真空助力器内控制柱塞与橡胶反作用盘之间的间隙、真空助力器推杆（制动主缸推杆）与制动主缸活塞之间的间隙在制动踏板上的反映。这一段踏板行程是制动液压升高之前的踏板行程，一般为 1～6mm。调整时除应检查、调节踏板推杆长度与制动灯开关的安装，还应检查调节真空助力器推杆的长度，如图 2-2 所示。

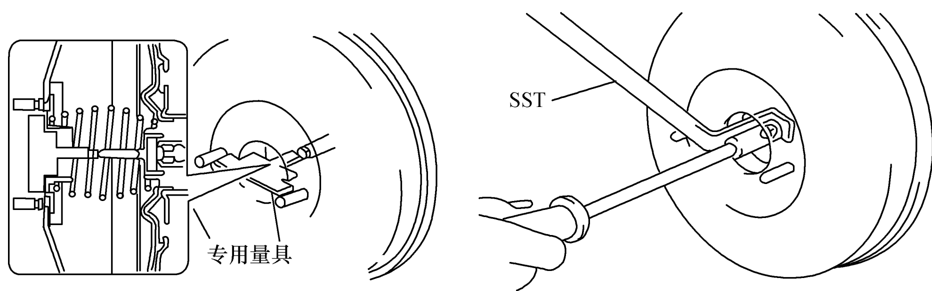


图 2-2　检查调节真空助力器推杆的长度

② 推杆间隙调整。在装配制动总泵和制动助力器之前，必须调节助力器推杆的长度。

要求总泵活塞与助力器推杆重新装配之后，它们之间要有一个适当的间隙。使用 SST 来调节间隙。必须检查多次，确保这一间隙。

提示：已更换总泵并且在成套工具中有辅助工具时，应使用辅助工具来进行调整。在调节助力器推杆长度时，参阅维护手册。

维修提示：如果间隙太小，会导致制动拖滞。如果间隙太大，会导致制动滞后。

③ 踏板行程余量的调整。发动机运转和驻车制动器松开时，使用 490N（50kgf，110lbf）的力踩下制动踏板，然后使用一把直尺测量踏板行程余量，以便检查其是否处于规定的范围内。查看标准值请参阅“修理手册”。测量从地面到制动踏板上表面的距离。如果必须要从地毯表面开始测量，则从标准值中扣除地毯或者地毯和沥青纸毡的厚度。一般说来，踏板行程余量均应大于 55mm。

2）检查踏板感觉和助力器的工作情况。

① 踏下踏板不动，踏板自动慢慢下降，说明主缸和车轮制动缸（分泵）的活塞、皮碗、阀门等磨损或不密封；检查分泵，如果分泵（不渗漏）正常，说明主缸不密封。

② 如果踏板很轻，车轮没有制动力，如果油路不缺制动油液，就说明主缸的旁通孔或补偿孔堵塞，或油路有空气。

③ 踏板很重，对装有真空助力器的车辆，故障原因主要是助力器或软管漏气，可对真空助力器真空度和阀门的密封性进行检查；若良好，再对制动系统其他部位进行检修。可先拔下真空助力器的真空管，听有无吸气声音，看发动机转速是否变化，如果没有响声并且转速不变化，说明真空管堵塞；若真空管正常，踏动踏板，如果踏板力不变，说明真空助力器不工作。如果真空助力器工作正常，说明主缸出油口或油管堵塞。

④ 踏不动，说明主缸的活塞或真空助力器卡住不动。

⑤ 按以下方法检查真空助力器：

a. 检查制动助力器工作情况。发动机停止后，踩下制动踏板几次，然后踩下制动踏板不动并起动发动机，如果此时制动踏板会自动下移一段距离，说明制动助力器能起助力作用。

b. 检查制动助力器气密性。发动机起动并工作一段时间后熄火，用同等的力踏下制动踏板三次，观察每一次制动踏板的行程，如果后一次比前一次制动踏板位置高，说明制动助力器气密性良好。

c. 检查制动助力器真空功能。在发动机运转状态下踩下制动踏板不动，然后将发动机熄火，保持制动踏板踏下一段时间，制动踏板应不会自动上移，说明真空管路、单向阀工作正常。如果发动机熄火时，制动踏板自动上移，说明单向阀失效等，可按如图 2-3 所示检查真空单向阀。

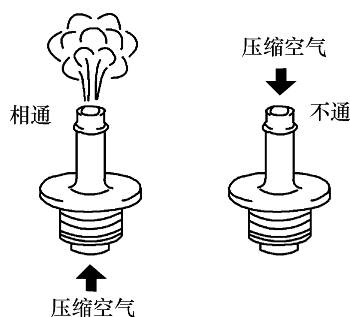


图 2-3 检查真空单向阀

3）检查 ABS 电控系统是否有故障。观察仪表，ABS、ESP、VSC、制动系统故障警告灯均应亮、灭正常。应清楚各种车型的仪表上显示的指示灯的含义，如图 2-4 所示为路虎（Land Rover）车的与制动系统相关的几个指示灯。如行驶中不正常亮起或闪烁，应尽快检修。一般应先读取故障码，按故障码的提示进行检查。

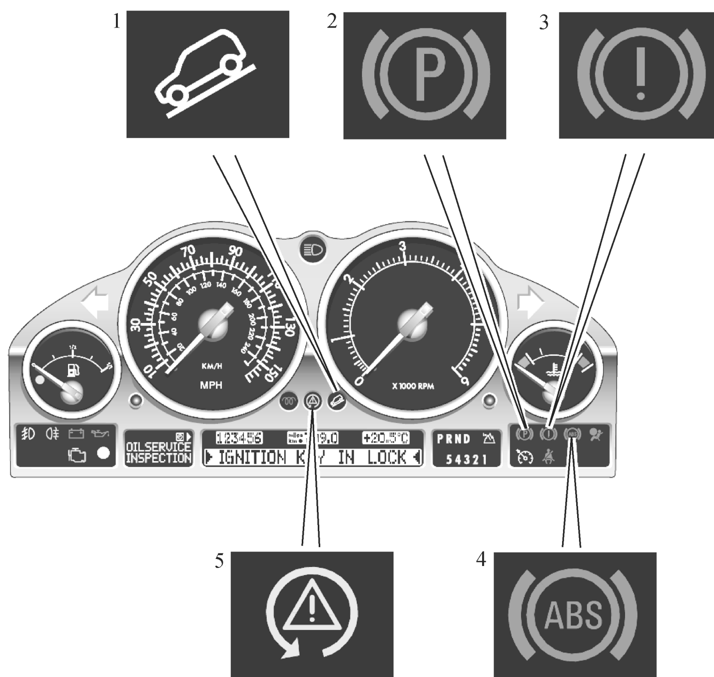


图 2-4 路虎车仪表上与制动系统有关的指示灯

1—HDC 指示灯（坡道辅助控制指示灯） 2—驻车制动指示灯 3—制动辅助/制动警告灯 4—ABS 警告灯 5—DSC 指示灯

遇制动不良故障时，应先区分是 ABS 机械部分（制动器、制动总泵、制动管路等）不良还是 ABS 电子控制系统的故障。方法是：拆下 ABS 继电器线束插接器或 ABS 制动压力

调节器电磁阀线束插接器，使 ABS 制动压力调节器电磁阀不能通电工作，让汽车以普通制动系工作方式制动，如果制动不良故障消失，则说明是 ABS 电子控制系统有故障；否则，为 ABS 机械部分的故障。

4）检查油路压力。按如图 2-5 所示接好油压表，拔下单向阀上的真空管，踏下制动踏板看油压指示。

① 如果踏板能完全踏到底，但踏板力较小，油压偏低，踏住踏板不动，踏板和油压下降较快，说明主缸活塞、皮碗、缸筒拉伤、油中有杂质、阀门不严或油管接头漏油。

② 如果踏板很重，有踩不下去的感觉，但油压偏低，说明主缸有发卡（推杆变形、主缸缸筒变形、皮碗发胀卡死）现象。

③ 装好单向阀，接上真空表，起动发动机，看真空表的指示。发动机怠速运转，不踏制动踏板，如果真空表指示低于标准值，说明发动机进气歧管、进气门等不密封。对采用机械真空泵或电动真空泵的车辆来说应检查真空泵及管路。

④ 如果制动压力能随着踏板力的增大而增大，且符合原厂要求，踩住踏板不动时，压力一直维持不变，说明制动压力正常，制动主缸及助力器正常。

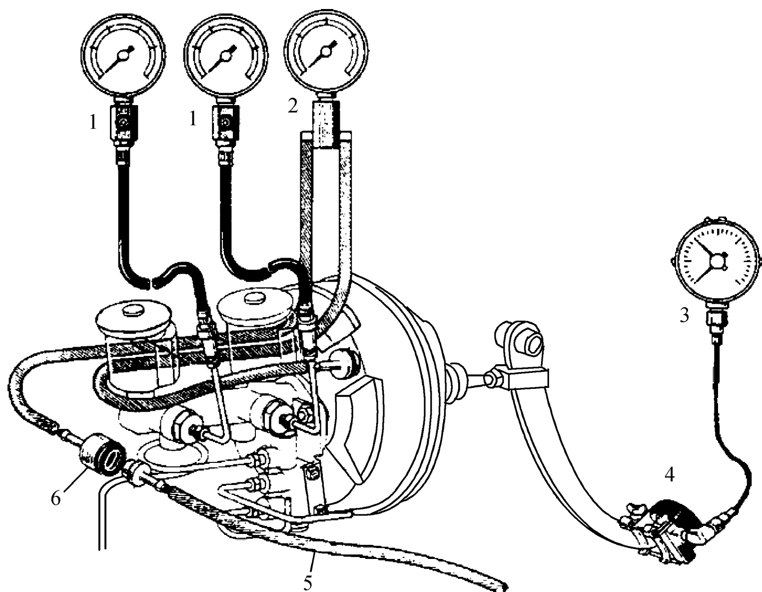


图 2-5　检查液压制动油路压力

1—油压表　2—真空表　3—测力表　4—踏板力传感器　5—真空管　6—单向阀

⑤ 除在主缸处连接压力表检查主缸能不能产生足够压力外，还可在制动分泵处检查油压，以诊断制动系统管路及阀等是否存在故障，如图 2-6 所示，其压力应符合规定。

5）制动管路中有空气。当在制动分泵处测得油压过低，如果怀疑在制动系统中有空气，可以用下述方法测试得知：

① 取下制动储液罐盖，添加制动液至合适液面。不用盖上储液罐盖。

② 请助手快速踩制动踏板 10～20 次，最后一次时踩住踏板不放。

③ 观察储液罐制动液液面，请助手迅速释放制动踏板，假如制动液冲出储液罐口，则表示制动管路进入空气。

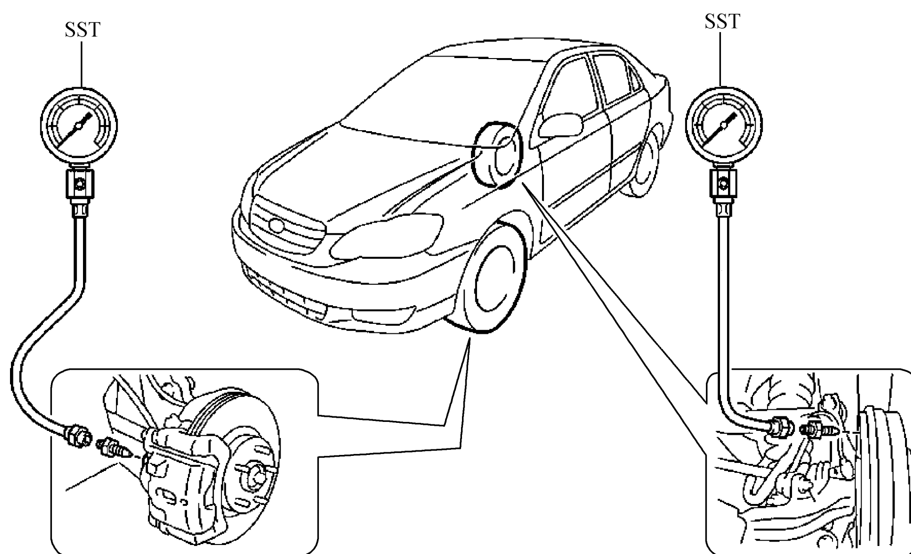


图 2-6 在前、后制动分泵处检查液压制动油路压力

只要液压部件被拆下、分离或主缸液面过低，空气都将进入制动系统，此时需要排气，以驱除制动系统内的所有空气。千万不要重复使用刚排出的制动液。目前有三种制动液在使用：DOT3、DOT4 和 DOT5。DOT3 和 DOT4 是吸水性的，它们吸收潮气。所有的制动液都必须符合国家相应的标准。各种制动液的主要差别在于它们的沸点。DOT3 是乙二醇基制动液，它的最低沸点为 401℉。DOT4 也是乙二醇基制动液，它的最低沸点是 446℉。DOT5 制动液为硅基，无吸水性，其最低沸点为 500℉。由于吸水性，DOT3 和 DOT4 制动液的储存有期限，一旦打开便应尽快将制动液用完。另外，盖应随时盖好。DOT3 和 DOT4 会损坏油漆表面，故处理制动液时应多加注意。硅基制动液 DOT5 的主要优点是沸点高和不吸水，但 DOT5 容易掺气。当摇动制动液时，会产生微小的气泡，所以 DOT5 制动液决不能在装备防抱死制动系统的车辆上使用。另外，DOT5 制动液的排气也更加困难。

加注制动液时，应加注正确的制动液，绝大多数车辆使用 DOT3 和 DOT4，这两种制动液可以互换，但不应混合。DOT5 则不能与 DOT3 或 DOT4 兼容。

通常有四种方法对制动系统排气：人工排气、压力排气、真空排气和冲击排气。不论采取哪种方法，基本程序是相同的。检查储液罐液面高度并在整个排气过程中维持液面高度，对所有车辆都应按厂家的排气程序进行操作。在主缸、轮缸、盘式制动器或者有时在组合阀上都设有排气螺钉，松开这些螺钉，迫使制动液流出便可排除系统内的空气。

压力排气装置上，有一个接头连接于主缸储液罐上方。一根软管从接头处通向压力排气装置顶部的压力排气腔。压力排气装置上另设有气腔，位于液腔的下部，两腔用膜片隔开。压缩空气通向气腔使气腔增压到 103～108kPa。如果制动系统设有计量阀，则此阀需用特制工具开启。用一根排气软管连接到某一个排气螺钉上，另一端则通向盛有部分制动液的一个容器。打开排气螺钉，放出制动液，直至清洁的液体流出为止。

进行真空排气操作时，真空泵连接到一个密封的容器上，另一根软管则将容器与排气螺钉连接。此软管上装有单向阀。推动真空泵的手柄 10～15 次，使容器产生真空。打开排气螺钉，使制动液流入容器。重复此过程，直至流向容器的液体完全没有气泡。

进行人工排气操作时，用一根排气软管将排气螺钉连接到盛有部分制动液的一个容器

内，软管的端部应浸没在容器中的制动液液面以下。排气时，每个制动钳或轮缸都应按生产厂家的规范要求进行操作。可能需要用一个软锤轻轻敲打制动钳以帮助气泡的排除。

冲击排气法有时与人工排气法结合使用。当轮缸或制动钳内的空气不易排出时，可用冲击排气法。实施本方法时，首先踩制动踏板数次，然后打开排气螺钉，同时快速再次踩制动踏板，然后缓慢松开踏板。等待几秒钟，再重复此动作。在最后一次踩制动踏板时，迅速关闭排气螺钉。

制动系统的清洗实际上是不断重复的排气过程，直至系统内的制动液完全被更换为止。制动液被污染或进行制动器定期维修时，可进行制动系统清洗。长期使用后，制动液便吸收潮气，清洗可消除潮气，并能使制动部件完善。如果主要的制动部件被更换，则更应进行清洗。

如果空气不能顺利地被排尽，应检查左右轮制动分泵是否调错，检查时可观察分泵上的放气螺钉是否在分泵的上方位置。

对 ABS 制动系统进行排气时，应注意使制动系统处于无真空助力状态。当对 ABS 液压调节器解体检修后，除了按常规制动系统进行加液和排气外，还需对 ABS 液压调节器内的第二回路（出油电磁阀与低压储液罐、液压泵之间）进行排气，否则在 ABS 起作用后，调节器内第二回路的空气将进入正常制动的液压回路，之后就会导致制动不良。这一般需要借助专用诊断电脑进行排气操作，它实际上是在排气过程中对液压泵、电磁阀进行控制，使电磁阀内及第二回路中的空气能迅速排出。如没专用诊断电脑，在排气过程中可人为直接通电控制液压泵、电磁阀，也能将空气排出。不同形式的 ABS，其排气程序可能会有些不同，应参照相应的保养手册进行排气操作。

如果行驶一段时间后，系统就会进入空气的话，就必须查明空气进入的原因。对装备 ESP 的车辆来说，如果离 ESP 液压执行器（ABS 液压调节器）最近的制动轮缸的一侧经常进入空气的话，除按常规检查空气进入的途径外，还应检查 ESP 液压泵电动机的控制电路，是否因液压泵电动机长时间运转，空气由轮缸处慢慢渗入等。

6）检查制动回路中的各液压阀是否不良或制动软管质量差（在高压下会膨胀）。当系统无空气进入，外部无泄漏，但在分泵处测得油压偏低，则应检查制动回路中的各液压阀、各管路中有无堵塞等，包括 ABS 液压调节器内部阀堵塞、泄漏等，如进油电磁阀有堵塞或回油电磁阀（减压电磁阀）有泄漏等。检查方法是分段检测油压。同时还要注意检查系统中制动软管是否存在鼓包、内衬损坏、存在质量问题、管壁单薄、在高压下会膨胀等现象。

7）检查各制动分泵活塞是否发卡。当系统油压正常而制动力不足时应检查各制动分泵活塞是否发卡。

8）检查制动器摩擦片与制动鼓（制动盘）的接触面积是否太小，并检查调整制动蹄摩擦片与制动鼓的间隙。制动器制动力取决于摩擦片与制动鼓（制动盘）的接触面积、摩擦系数、正压力。当摩擦系数、正压力正常的情况下，应检查摩擦片与制动鼓（制动盘）的接触面积。图 2-7 为制动器摩擦片与制动鼓的接触面积的检查。必要时应光削制动鼓、制动盘，更换制动摩擦片。检查制动蹄摩擦片与制动鼓的间隙自调机构工作是否正常，并调整蹄鼓间隙。

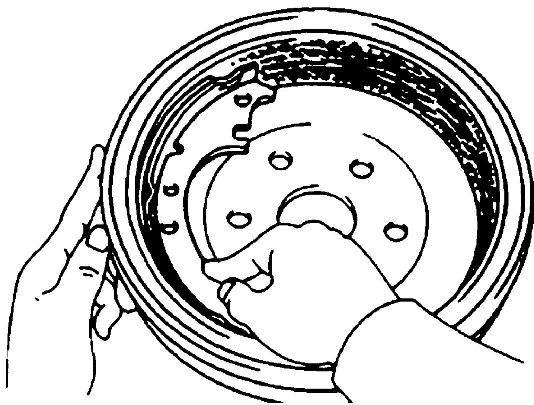


图 2-7　检查制动器摩擦片与制动鼓的接触情况

二、制动失效故障的诊断与分析

1. 故障现象

汽车行驶时，踩下制动踏板车辆不减速，即使连续踩几脚制动也无明显作用。

2. 故障主要原因

造成制动失效的原因主要是：

1）储液罐内无制动液，应添加制动液至规定高度，并排出制动系统空气。

2）制动主缸、制动轮缸皮碗严重破裂，应予更换。

3）制动软管、金属管断裂或接头处严重泄漏。

4）制动踏板至制动主缸的连接脱开。

5）制动液压系统内有较多空气。

6）因某种原因使制动片与制动盘之间的间隙过大，导致在第一脚制动时踏板位置过低，制动压力不能立即建立。如刚换过制动片后的第一次制动，或因制动卡钳连接松动、车轮轴承磨损松动，活塞被振回卡钳缸孔中等。

3. 故障诊断方法

1）踩下制动踏板，如无连接感，说明是踏板与制动主缸的连接脱开，应予修理。

2）检查系统管路有无泄漏或破裂（通常根据油迹）。管路的泄漏或破裂会使回路中形成不了高压，使制动性能失效。应予修理或更换管路。

3）检查制动液压系统内是否存在较多空气。应查明进空气的原因并排除空气。

4）如上述情况正常，则应检查制动主缸和制动轮缸。轮缸泄漏可导致空气进入和制动液流失，造成制动踏板低下和松软。制动液低劣或制动液过热容易使制动液沸腾，会暂时丧失制动性能。特别是制动主缸活塞皮碗泄漏时，可能导致制动瞬间失效。

5）如果在第一脚制动时踏板位置过低，感觉制动失效，松开制动踏板再次踏下，制动踏板位置升高，连踏几次制动踏板后制动性能恢复正常，除检查主缸外，还应检查是否因某种原因使制动片与制动盘之间的间隙过大。如刚换完制动片而未踏过制动踏板，那么在第一次制动时就可能感觉失效，这本是正常现象，所以作为修理人员应切记换完制动片后应踏制动踏板几次，使制动片与制动盘之间的间隙恢复正常。而作为驾驶员，在开车起步前，则应踏制动踏板感觉制动踏板行程余量是否正常。如行驶中偶尔出现这种现象，主要应检查制动主缸的密封件是否良好。有时在急转弯或路面粗糙的情况下，制动分泵活塞可能被冲击回制动卡钳的缸孔中，也会出现这种情况。还应检查制动卡钳是否连接松动、车轮轴承是否磨损过甚或松动，活塞被振回卡钳缸孔中等。

三、制动跑偏故障的诊断与分析

1. 故障现象

汽车制动时，车辆行驶方向发生偏斜；紧急制动时甚至出现掉头或甩尾现象。

2. 故障主要原因及处理方法

造成制动跑偏的根本原因是汽车左、右两侧车轮受到的制动力不一致。具体原因主

要是：

1）制动压力调节器或比例阀失效，应予更换。

2）一侧鼓式制动器制动底板松动，或盘式制动器制动钳固定支架（板）松动，应予复原紧固。

3）一侧制动摩擦片有油污，应在排除油污原因的前提下予以更换。

4）左、右轮制动蹄（钳）摩擦片材料不一、新旧程度不一或质量不一，应予更换。

5）左、右轮制动蹄（钳）摩擦片与制动鼓（盘）的接触面积不一或制动间隙不一，应予调整。

6）左、右轮制动蹄回位弹簧拉力不一、应予更换。

7）左、右轮轮胎气压不一、直径不一、花纹不一等。

8）一侧车轮制动蹄与支承销配合过紧或锈蚀，应予调整或润滑。

9）一侧车轮制动器的领蹄和从蹄摩擦片安装错位。

10）一侧车轮制动轮缸活塞与缸壁磨损过甚或皮碗老化、发胀、发粘，应予更换。

11）在相同轴上的制动鼓尺寸相差过大。

12）车架水平面弯曲变形，前轴与车架不垂直，前后轴不平行或两边钢板弹簧刚度不等，应予校正或更换。

13）一侧车轮制动蹄弯曲、变形，应予校正或更换。

14）前轮定位不正确，应予调整或更换部件。

15）悬架装置紧固件松动，应予紧固等。

3. 故障诊断方法

减速制动，汽车向左（右）跑偏，说明右（左）轮制动迟缓或制动力不足。

紧急制动，观察车轮在地面上的印迹。若同一轴两边车轮印迹不能同时产生，则其中印迹短的车轮为制动迟缓，印迹轻的为制动力不足。

检查制动迟缓或制动力不足车轮的轮胎气压、轮胎磨损情况及制动管路是否漏油。检查制动系统中有无空气，制动间隙是否正常。故障仍存在时分解检查制动器和制动轮缸。

制动迟缓指车轮产生制动的速度慢，个别车轮制动迟缓和制动力不足会使所在车轮与同轴车轮的制动力不一致，造成汽车制动跑偏。车身倾斜等原因会造成两侧车轮受到不同的负载，从而产生不同的制动力，造成汽车制动跑偏。

主缸通过一套制动油管和软管将液压传递到轮缸或制动钳上，软管则连接于车体上的刚性油管和制动钳或轮缸之间，起到柔性连接的作用。整个制动系统内，制动液的压力和流量必须符合规范要求。即使油管或软管的部分堵塞也会影响液流的畅通并引起问题。施加的制动压力可能足以驱使液流流过堵塞部位，但制动将不易解除或解除缓慢。这就造成制动器拖滞。如果堵塞发生在一个车轮上，则车辆制动时将向一侧跑偏。

若故障还是存在，应检查车身或悬架、转向系统、行驶系统是否有故障。

当两前轮主销内倾角左右不等时，不但会引起行驶跑偏，而且会导致紧急制动时在转向盘上产生严重的转动力矩而出现制动跑偏。这种现象在轻型货车主销松旷时即可能发生，可分析如下：

当轻型货车前轮主销与主销衬套间隙过大时，行驶中虽然主销固定在工字梁两端轴线不变，但两车轮外倾角变化不等，从而引起左右主销偏距不等，如图 2-8 所示。在紧急制动时，当制动力达到一定程度，在主销偏距作用下产生使两前轮绕各自的主销偏转的力矩，由于偏距不等，故偏转的力矩不一致，这将使转向盘上产生一个力矩，从而可能使转向盘急剧向主销偏距大的一侧偏转。图中以夸张的手法把一个轮画成正偏距，一个为负偏距，实际上一般还不至于达到这么大的差别，否则早就引起了行驶时的方向稳定性问题（如出现前轮摆头、方向发飘等故障现象）。

图 2-8 主销内倾角左右不等导致的制动跑偏

在轿车上，前悬架均为独立悬架，很多车在悬架系统没有损坏、变形时，其主销内倾角和车轮外倾角之和（即包容角）保持不变，其主销偏距（车轮接地点中心至主销轴线延长线与路面交点之间的距离）一般也保持不变。通过从上控制臂部位、下控制臂部位、前减振器顶部改变车轮外倾角，将引起主销内倾角的相应变化，而主销偏距一般不会发生变化。保证车轮外倾角正确，也就相应地保证了主销内倾角正确。但当机件变形（如转向节弯曲变形），使车轮外倾角和包容角发生改变，主销偏距也发生改变，此时即使通过调整上控制臂部位、下控制臂部位或前减振器顶部使车轮外倾角左右相等，但主销内倾角左右不等，主销偏距左右不等。对前轮驱动车辆来说，会导致行驶跑偏，特别是在车辆突然加速时产生明显的力矩转向，紧急制动减速时会向另一侧产生严重的转向拉力，这是由于驱动力和制动力方向不同造成的。这种现象一般发生在经历较严重的事故后维修不完全、不彻底的车辆上。有些轿车的车轮外倾角是在减振器支架与转向节连接处进行调整的，如捷达轿车，这类调整形式的车辆，其车轮外倾角可单独调整，不会影响到主销内倾角。调整时，由于减振器顶部中心点及下摆臂球头位置基本不变，故主销内倾角不变，此时包容角发生改变，主销偏距也发生改变。如果调整不当，车轮外倾角左右不等，主销偏距也将左右不等，这样也有可能导致车辆加速时向主销偏距小的一侧跑偏，而急减速或制动时向另一侧跑偏，在一定车速下紧急制动时也就出现转向盘急剧向一侧偏转的故障现象。这实际上主要是主销偏距左右相差较大造成的。

四、制动拖滞故障的诊断与分析

1. 故障现象

在行车制动中，当抬起制动踏板后，全部或个别车轮的制动作用不能立即完全解除，以致影响车辆重新起步、加速行驶或滑行。

2. 故障原因

故障的实质是不踏制动踏板时，制动器仍有制动力。常见的故障原因主要有：

1）制动踏板无自由行程，应予调整。

2）踏板回位弹簧脱落、拉断、拉力不足，踏板轴锈蚀、卡住而回位困难或真空助力器内部卡滞，应予检修或更换。

3）制动主缸皮碗发胀、发粘或活塞回位弹簧拉断、预紧力太小，造成回位不畅，应予更换。

4）制动主缸补偿孔被污物堵塞，应予清洁。

5）制动蹄回位弹簧脱落、拉断、拉力太小而回位不畅，应予连接或更换。

6）液压制动轮缸皮碗发胀、活塞卡住。

7）制动器制动间隙太小，应予调整。

8）制动软管内衬损坏，导致回油不畅，应更换软管。

9）盘式车轮制动器分泵活塞密封圈老化，失去自动回位作用或活塞锈滞。

10）盘式车轮制动器制动钳滑动销锈滞。

11）驻车制动装置不良，驻车制动不能完全解除。

12）制动管路中液压阀或 ABS 液压调节器不良。

3. 故障诊断方法

1）诊断时应判明是少数轮还是所有轮制动拖滞，俗称“发咬”。行驶一段时间后，若各车轮制动鼓或制动盘均发热，即为全轮“发咬”；若仅个别车轮制动鼓或制动盘发热，就是个别轮“发咬”。

也可将车辆举升，一人在驾驶室制动后再放松制动踏板，一人立即转动车轮，所有车轮均不能立即转动，说明全轮制动拖滞；如果个别车轮不能立即转动，说明故障为个别车轮拖滞。如果存在两个车轮拖滞，需弄清楚此两个车轮是否属同一制动液压管路控制。

2）全轮“发咬”多为制动主缸故障。一般先检查踏板自由行程，若无自由行程，应予调整。若制动踏板不能完全回位，一般为真空助力器卡滞或踏板回位弹簧失效。接着检查制动主缸橡胶件是否发胀或主缸补偿孔堵塞，使制动踏板不能回位或回位迟缓。刚拆修过主缸的话，可能是检修草率，主缸内部零件安装不正确。

将车辆举升至车轮离地，一人在驾驶室制动后再放松制动踏板，一人立即转动车轮，确认存在全轮制动拖滞后，将制动主缸与真空助力器的连接螺母均匀松开一些，再执行制动后再放松制动踏板操作。如果故障消失，说明踏板推杆、真空助力器推杆或制动灯开关等调整不当；如果仍拖滞，拧松制动主缸出油管接头，转动车轮，能立即转动，说明故障在制动主缸，可能是制动主缸橡胶件发胀或主缸补偿孔堵塞，可进一步拆检。

3）同一制动管路控制的两个车轮“发咬”，按上述方法拧松主缸出油管接头后车轮能立即转动说明故障在主缸。如两后轮同时拖滞，还应检查驻车制动装置的工作情况，可能驻车制动器拉索卡住等。

4）个别车轮“发咬”一般为车轮制动器故障或此制动分泵内的液压不能立即降低（即回流不畅）。如前所述，将车辆举升至车轮离地，一人在驾驶室制动后再放松制动踏板，一人立即转动车轮，确认某车轮制动拖滞后，将制动分泵上的放气螺钉拧松，转动车轮，能立即转动，说明故障是制动分泵内的液压在解除制动时不能立即降低（即回流不畅）。可用同

样方法拧松制动软管靠分泵一侧的接头，如转动车轮能立即转动，而拧松制动软管靠主缸一侧的接头，车轮仍不能立即转动，说明制动软管内衬损坏，导致回油不畅（参见图 2-30 所示）。如果在拧松 ABS 液压调节器至分泵侧的管接头后，车轮可立即转动；而拧松 ABS 液压调节器至主缸侧的管接头后车轮仍不能立即转动，说明 ABS 液压调节器内部不良。可用这种方法分段检查，直至找到故障部位。当拧松制动分泵上的放气螺钉车轮仍不能立即转动，说明故障在车轮制动器本身而非制动管路残压过大所致。

5）对鼓式车轮制动器来说，主要检查制动蹄片间隙是否太小；制动蹄回位弹簧是否过软、折断或脱落；制动蹄支承销是否锈蚀卡滞；制动轮缸是否活塞锈蚀或橡胶件发胀；制动鼓是否失圆或制动蹄摩擦片破碎等。

6）对钳盘式车轮制动器来说，主要检查制动片在制动钳上是否发卡；制动分泵活塞是否因密封圈老化失去自动回位作用或活塞锈滞、制动钳滑动销锈滞等。制动钳滑动销锈滞的检查如图 2-9 所示。

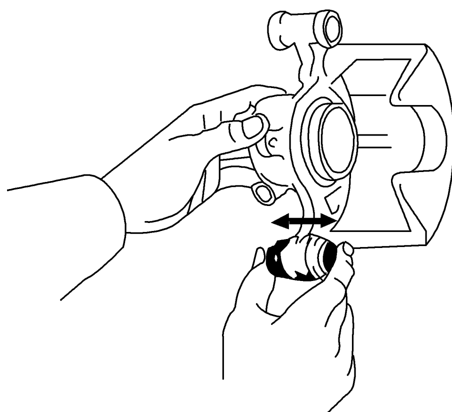


图 2-9 检查制动钳滑动销

五、制动时制动踏板抖动故障的诊断与分析

1. 故障现象

制动时制动踏板上、下抖动，出现“顶脚”现象。

2. 故障原因

故障原因主要是：

1）润滑油或制动液污染了制动摩擦片，造成摩擦片打滑。污染摩擦片的润滑油可能源于后桥油封漏油，润滑脂可能源于车轮轴承密封件泄漏，应在排除故障后更换制动蹄片。

2）制动盘划伤或翘曲，端面圆跳动过大，应予光削或更换。光削或更换时，同轴左右两侧的制动盘应同时进行。

3）制动钳松动或卡滞，应予紧固或润滑，必要时应更换。

4）制动蹄调节不当或制动蹄与制动鼓接触不良。

5）制动底板、轮缸、摩擦片或支承销松动。

6）制动鼓失圆、表面粗糙或轮轴弯曲。

7）车轮轴承磨损或松动。

8）转向、悬架系统零件松动或磨损。

9）个别 ABS 车轮转速传感器头部与信号轮之间的间隙过大等导致的信号错误，使 ABS 错误动作。

10）ABS ECU 不良。

3. 故障诊断方法

1）区分是制动系统机械部分不良还是 ABS 电子控制系统的故障。方法是：拆下 ABS

继电器线束插接器或ABS制动压力调节器电磁阀线束插接器或ABS ECU线束插头，使ABS制动压力调节器电磁阀不能通电工作，让汽车以普通制动系工作方式制动，如果制动时制动踏板抖动现象消失，则说明是ABS电子控制系统有故障，否则，为制动系统机械部分的故障。

2）如果判定为ABS电子控制系统故障，则应检查ABS车轮转速传感器信号，可采用诊断仪对比各个ABS车轮转速传感器数据，并检查ABS车轮转速传感器头部与信号轮之间的间隙是否符合标准，必要时更换ABS ECU。

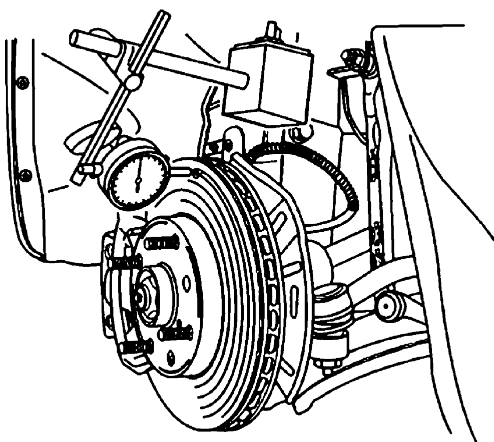


图2-10　检查制动盘端面圆跳动

3）如果判定故障不在ABS电子控制系统，则拆检车轮制动器，检查摩擦片上是否沾有油污；制动盘端面圆跳动是否过大，检查方法如图2-10所示；制动鼓是否磨损失圆；车轮轴承、制动器各部件是否松动；转向、悬架系统是否出现零件松动或磨损等。

六、无ABS功能故障的诊断与分析

1. 故障现象

在行车制动中，有车轮抱死现象，无ABS调节功能。

2. 故障原因

1）制动液液位过低。

2）蓄能器充液不足或已无制动液。

3）ABS液压回路泄漏。

4）液压泵/电动机总成不合格或蓄能器压力下降。

5）供给ABS电子控制装置的电压低或接地不良等。

6）ABS继电器不合格。

7）电磁阀不工作或工作不正确。

8）车轮转速传感器脉冲轮损坏、线路不良、传感器到转速脉冲轮间隙不正确或传感器损坏。

9）制动灯开关或压力开关不良。

10）新换的ABS ECU未正确编码等。

11）ABS ECU不良。

12）点火系火花塞、高压线不良或发电机故障等产生电磁干扰导致ABS ECU错误工作。

13）个别轮胎型号不对或轮胎磨损过甚。

3. 故障诊断方法

1）进行试车。起动及路试时注意ABS系统报警灯，确定所需的进一步诊断。所有的

ABS 系统都有某种类型的自检功能。每次点火开关转到 ON 位置时，自检便开始，故对系统做任何诊断都可以从简单的自检开始。车辆起步后，在开始行驶时出现的微小“咔嗒”声是 ABS 计算机自检引发的声音，此时计算机短暂地使 ABS 系统内的电磁阀动作。防抱死制动控制模块将完成 ABS 电气系统的初步自检。如果自检时发现故障，则 ABS 故障指示灯一直亮而 ABS 系统将停止工作。

2）读取故障码。如果 ABS 电子控制系统、部件和电路出现故障，绝大多数现代防抱死制动系统都有故障信息（称为故障码）的存储功能。利用故障诊断仪，可从计算机内存中读取故障码，将故障码用于故障分析和故障诊断工作。某些系统获得故障码的方法是计算 ABS 警告灯的闪烁次数。不论以什么方法获得故障码，维修人员都应当按有关的维修手册进行指定的诊断任务。根据故障码提示的故障范围，按照相关的诊断程序进行诊断，排除故障。

3）通过故障诊断仪读取相关数据。通过故障诊断仪检查传感器和部件的数据，最重要的信息如车轮转速传感器的工作状态数据等可以用于检查、比较和分析。使用故障诊断仪可极大地缩短诊断时间和解决难以处理的 ABS 问题。

4）目视检查防抱死制动系统。检查液面高度、线束接口和各部件的连线。注意各部件的正确安放和导线线束的正确排列。所有连接 ABS 部件的导线，其排列必须与拆卸前完全相同，不要改变线束的位置、布线方式和支承。

轮胎尺寸对防抱死功能起重要作用，轮胎尺寸的改变会影响 ABS 系统的工作，并可能引起车轮抱死。应检查轮胎型号及轮胎是否磨损过甚。

5）诊断和维修 ABS 车轮转速传感器和齿环（包括输出信号、电阻、对电压短路（接地）和频率数据）。常用的车轮转速传感器为电磁式，它由金属铁制成的齿环和一个永久磁铁传感器组成。车轮滚动时，由于磁场改变，车轮转速传感器便产生交流电压。此信号的强度随着车轮转速变化，且在最大正电压和最大负电压之间变化。这种循环不断发生，形成正弦波。只要计算每秒钟内的循环次数，ABS 控制器便能算出车轮转速传感器的频率。控制器进一步利用此频率与其他车轮转速传感器的频率比较，便能知道哪一个车轮减速更快，表明此轮正在向抱死逼近。

检测车轮转速传感器时，从目测传感器及其连线开始。碎屑积聚在传感器和齿环周围会影响信号的质量和强度。此外，如有可能，可检测传感器和齿环之间的气隙。若气隙过宽，则可能引起信号减弱或输出不稳定，检查齿环有无碎屑积聚，有无裂缝或破裂。某些传感器安装在差速器内，齿环则安装在齿圈上。轴承和齿轮磨损形成的碎屑可能积聚在传感器周围。

可使用欧姆表检查传感器的电阻，再与维修手册的规定值比较。检测车轮转速传感器的最准确的方法莫过于使用示波器。示波器可以检测信号的质量，并找出传感器信号的间断性瑕疵。

6）对可变容积式 ABS 液压调节器来说，如果防抱死液压泵不停地运转或运转的时间很长，则说明蓄能器充液不足、蓄压器可能损坏或液压泵/电动机总成不合格导致压力下降。

7）检查 ABS ECU 的电源供应。如供给 ABS 电子控制装置的电压低，应查到相应的故障原因，如接地不良、ABS 继电器不良等。

8）检查 ABS 液压调节器电磁阀。

9）按电路图查找电路故障。

10）如果新换了 ABS ECU，有的车还必须对 ABS ECU 进行正确编码。

11）检查是否存在电磁干扰。检查点火系统火花塞、高压线是否不良、发电机是否存在故障以及其他原因引起的电磁干扰导致 ABS ECU 错误工作。

如果要安装某电子装置如收音机或警报器，要确保其导线不与 ABS 线束干涉。

七、制动时异响故障的诊断与分析

1. 故障现象

制动时个别车轮有异响，并伴有车身抖动现象。

2. 故障原因

1）制动蹄摩擦衬片或摩擦块硬结、太光滑，或制动鼓与摩擦衬片间夹有金属屑等发出“吱吱”的尖叫声。

2）制动鼓与摩擦衬片的曲率相差太大，摩擦衬片曲率过小使两端与鼓接触；或制动鼓失圆，与摩擦衬片接触不良或磨损不均，都能发生“哽”的响声，且车身抖动。

3）制动蹄摩擦衬片与制动鼓间隙过小而相互摩擦，会发出“唰、唰”的响声。

4）制动鼓破裂。

5）防颤动弹簧/夹磨损或弹力减弱。

6）摩擦块磨损到金属底板或摩擦块磨损指示器接触制动盘。

7）制动卡钳安装螺栓松动。

8）摩擦片中的防颤动弹簧漏装或安装不良、摩擦片和制动卡钳之间的间隙太大。

9）位于活塞和摩擦片之间的消声片漏装或安装不良。

10）前、后悬架部件磨损松旷或固定螺栓松动。

11）制动盘端面圆跳动过大、平面度偏差过大或车轮轴承松动。

3. 故障诊断方法

应根据不同的响声判定故障原因。分解制动器，检查制动鼓、摩擦衬片的损伤及两者的配合。

盘式制动器制动盘和制动钳之间的振颤噪声或尖叫声，多因旋转元件抛光不良，修削加工粗糙，表面刮擦受损或钳体部位毛刺造成，应逐一检修清洁，必要时更换零部件。修复旋转元件可采用不定向涡流式抛光法重新抛光其表面，利用特种型号制动盘或在制动盘背后装上垫块和复合材料也可以消除或降低噪声。制动盘过度磨损会导致金属刮削声。制动盘磨损超过规定限度时，应予更换。

鼓式制动器内摩擦片的过度磨损，制动蹄或鼓调整不当或变形将导致摩擦声或金属刮削声，应予校正或更换。制动鼓和摩擦片磨损或刮伤，摩擦片油污打滑，回位弹簧轻度失效等可能导致制动器工作时出现尖叫声，应予检修或更换零部件。此外，制动器元件松动、脱落或装配不良时，还会出现机械撞击声。这时应停车检修，将相应元件装配回位并固定好。

车辆开始行驶时出现的微小咔嗒声是 ABS 计算机自检引发的声音，此时计算机短暂地使 ABS 系统内的电磁阀动作。

还应检查前、后悬架部件是否磨损松旷或固定螺栓松动。

八、故障诊断、排除的相关要点

（一）防抱死制动（ABS）系统

1. 防抱死制动系统（ABS）的故障类型

ABS 故障基本上可分为三大类：电路故障、机械故障及外来干扰。

1）ABS 的电路故障。ABS 的电路以控制单元为中心，除控制单元本身的电源电路外，还有信号输入电路及执行器工作电路。有些 ABS 的电路故障是容易修复的，如连接导线松开、破损、连接不良及短路、断路等，有些则是难于修复的，如电子控制器、传感器及电磁阀等的内部故障，一旦出现故障，就必须更换。当然也有一些 ABS 的电路、电器元件实体并没故障而 ABS 灯亮，如 ABS ECU 编码不对（一般是新换了 ABS ECU 而未进行正确编码）。

2）机械故障。ABS 系统的机械故障主要是传感器松动、传感器信号转子与传感头之间的间隙不当、安装上的人为失误、更换配件型号不符、轮胎气压及直径不等等造成，也有一些是 ABS 压力调节器内部机械故障。

传感器松动破坏传感头与信号转子脉冲环间的正确间隙，就难于准确测量车辆的运动状态参数。车轮转速传感器一般有两种，一种为磁电式，一种为霍尔式，应检查其信号转子有无变形或损坏，更换配件时应仔细核对配件型号，笔者就曾遇到信号转子脉冲环齿数相差一个的情况。采用霍尔式车轮转速传感器（如广州本田飞度等）的信号转子（磁环）通常装在轮毂轴承上，若把轴承装反，即导致该轮无轮速信号输出。

如 ABS 电路系统技术状况良好，传感器又能准确测量车轮运动状况，而 ABS 性能不良，如制动距离增长、防抱死作用失控等，则为压力调节器故障所致。其内部机械故障主要是阀门卡滞、不密封等。

压力调节器的轻微故障是：“响应迟缓”，“增益”不当；其严重故障是：工作程度不受 ABS 控制，脱开 ABS，制动系统不能恢复到常用制动系统的功能。

由于压力调节器结构差别较大，难以将其归纳起来，这就需要我们熟悉各种车型 ABS 系统的结构、原理。

3）外界干扰。ABS 系统的电子控制单元（ABS ECU）以及传感器到 ABS ECU 间的连线易受电磁的不利影响。一旦 ABS 系统受到电磁的干扰，其工作便会失常。比较常见的就是信号屏蔽线损坏、传感器近旁起屏蔽作用的金属罩盖安装不当。干扰可来自车辆本身其他系统如点火系统，也可来自外界如其他车辆。当车辆在特定环境下 ABS 灯亮，更应考虑外界干扰因素。如某车发动机要求装配带抑制电阻的火花塞，若更换了不带抑制电阻的火花塞，在加速行驶过程中可能会使 ABS 灯亮。

2. ABS 防抱死制动系统的常见故障现象

ABS 的故障现象又大致可分为以下几种情况：①紧急制动时，车轮被抱死；②制动效果不良；③警告灯亮起，ABS 不起作用；④ABS 出现不正常现象，如在低速制动时 ABS 起作用，踩制动踏板时有振颤的感觉，有时发出“咕噜、咕噜”的声音等。

3. 检修 ABS 的注意事项及一般检查方法

当 ABS 系统出现故障时，应根据具体情况，采用正确的方法检修故障。

1）具体检修时，应首先对 ABS 的外观进行检查，如导线的插头和插接器有无松脱、制动液是否足够、制动油路和泵及阀有无漏损、蓄电池是否亏电等，还应注意各轮胎型号、气压、直径大小等。对这些容易出现的故障且检查方法又很简单的应先行检查，确定无异常时，再做系统检查，对迅速排除故障有利。

2）当 ABS 警告灯亮起，一般应先读取故障码，按故障码的提示进行检查。

3）区分是 ABS 机械、液压部分（制动器、制动总泵、制动管路等）及 ABS 电子控制系统故障。遇制动不良故障时，应先区分是 ABS 机械部分（制动器、制动总泵、制动管路等）不良还是 ABS 电子控制系统的故障。方法是：拆下 ABS 继电器线束插接器或 ABS 制动压力调节器电磁阀线束插接器，使 ABS 制动压力调节器电磁阀不能通电工作，让汽车以普通制动系统工作方式制动，如果制动不良故障消失，则说明是 ABS 电子控制系统有故障，否则，为 ABS 机械部分的故障。

4）重视 ABS 系统的初步检查。初步检查是指对可能导致 ABS-TCS/ESP 等系统故障的易于接触的部件进行检查。目视检查和外观检查程序能快速确定故障，而无需再做进一步的诊断。

① 确保车辆上只安装推荐尺寸的轮胎和车轮。

② 检查液压调节器是否有外部泄漏。

③ 检查 ABS-TCS/ESP 熔丝。

④ 检查 ABS-TCS/ESP 警告指示灯熔丝和停车指示灯熔丝。

⑤ 确保蓄电池充满电。

⑥ 检查蓄电池连接处是否腐蚀或端子松动。

⑦ 对下列电子控制单元系统执行目视检查和外观检查：

a. ABS-TCS/ESP 部件线束和端子是否正确连接、是否被夹伤或割伤。

b. 线束布线是否十分靠近高电压或大电流装置（因为高电压或大电流装置可能会使电路产生感应噪声，从而干扰电路的正常工作。比如下列装置：次级点火部件、电动机和发电机、售后加装的立体声放大器。

c. ABS-TCS/ESP 系统相关部件的连接器连接不良或端子没有完全插入连接器壳体中。

d. ABS-TCS/ESP 部件对电磁干扰（EMI）很敏感。如果怀疑有间歇性故障，检查售后加装的防盗装置、灯或移动电话是否安装不正确。

e. 检修时，对维修车辆的 ABS-TCS/ESP 系统零部件位置应做到心中有数，如 2003 款奥迪 A8 轿车的 ABS-TCS/ESP 系统零部件位置如图 2-11 所示。

5）ABS 电子控制系统故障多出现于线束插接器或导线头松脱、车速传感器不良等。应先对这些部件和部位进行检查，而制动压力调节器等故障相对较少，ABS 的控制器（ECU）故障更少，所以一般情况下，不要轻易去拆检 ABS ECU 和制动压力调节器。此外，在检查线路故障时，不应漏检熔断器。

6）在需拆检 ABS 液压控制器件时，应先进行泄压，以避免高压油喷出伤人，尤其是有高压蓄压器的 ABS。

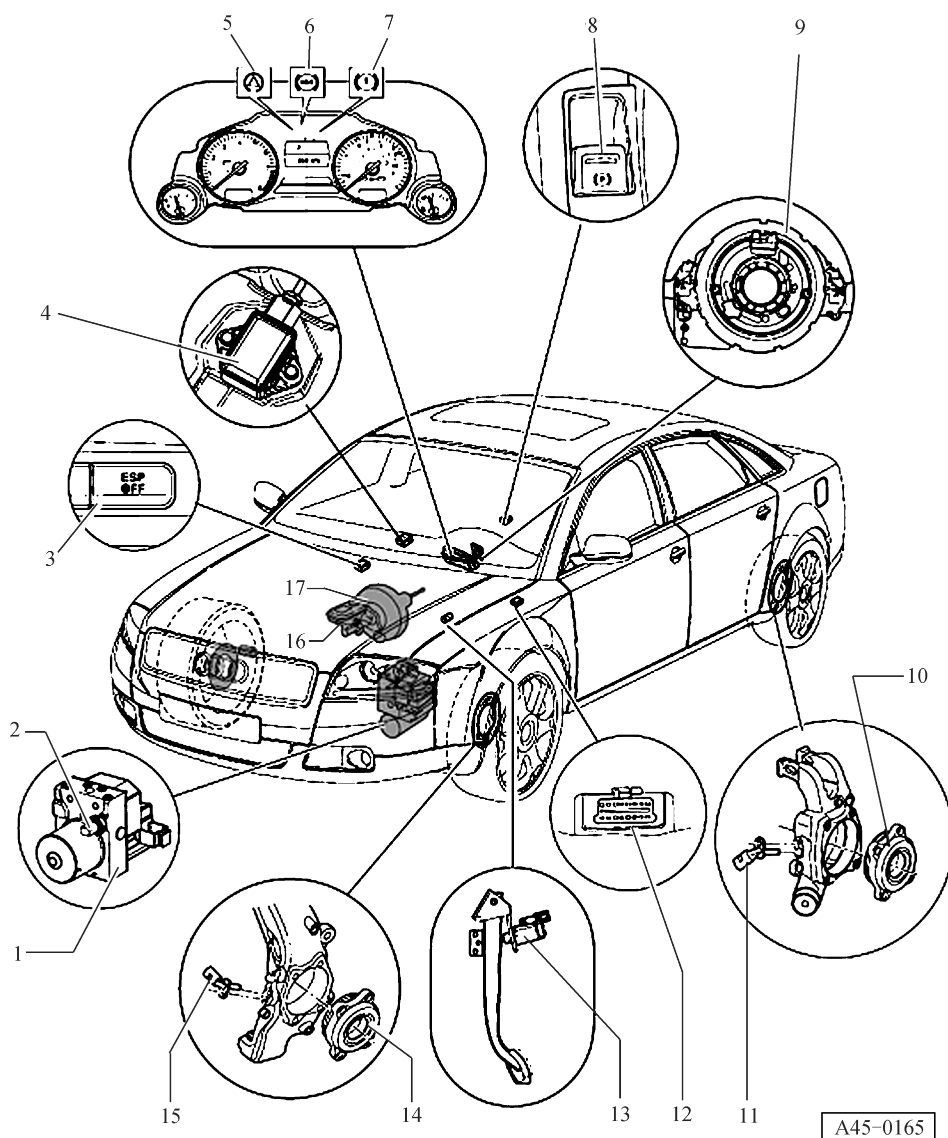


图 2-11 2003 款奥迪 A8 轿车的 ABS-TCS/ESP 系统零部件位置

1—带控制单元 J104 的液压系统控制单元 N55 2—制动压力传感器 G201 3—ASR/ESP 按钮 E256 4—横向加速度传感器 G200 和偏转率传感器 G202 5—ASR/ESP 指示灯 K86 6—制动系统指示灯 7—制动系统故障指示灯 K118 8—驻车制动器按钮 F234 9—ESP 转向角传感器 G85 10—车轮轴承/轮毂单元 11—右后/左后车轮转速传感器（G44/G46） 12—诊断接口 13—制动灯开关 F 和制动踏板开关 F47 14—车轮轴承/轮毂单元 15—右前/左前车轮转速传感器（G45/G47） 16—制动液液位警告信号触点 F34 17—串联式制动助力器

7）对车轮转速传感器的检查，首先进行直观检查，主要检查传感器有无松动，导线及插接器有无松脱。还需弄清楚车轮转速传感器的结构形式，若是电磁式则用电阻表检测传感器感应线圈电阻，如果电阻过大或过小，均说明传感器不良，应更换。如果是霍尔式，则可先用电压表检查电源及搭铁是否良好；然后用万用表测量传感器的输出信号电压，在车轮转动时，电压表应该有电压指示，其电压值应随车轮转速的增大而升高。当然最好是用示波器检测传感器的输出信号电压波形，对电磁式车轮转速传感器来说，其正常的信号电压波形应

是均匀稳定的正弦电压波形；对霍尔式车轮转速传感器来说，其正常的信号电压波形应是均匀稳定的方波。如果无信号电压或有缺损，应拆下传感器做进一步检查，检查信号转子是否有缺损或脏污，传感头与信号转子之间是否有脏物。如需动态测试，可在试车过程中用专用诊断电脑读取数据流及用示波器测量其信号电压波形。

8）对 ECU 的检查方法如下：

① 检查 ABS 的 ECU 线束插接器有无松动，连接导线有无松脱。

② 检查 ABS 的 ECU 线束插接器各端子的电压值、波形或电阻，如果与标准值不符，与之相连的部件和线路正常，则应更换 ECU 再试。

③ 有些车的 ABS 系统还需用专用诊断电脑对新换的 ABS ECU 进行正确编码。如大众车系。

④ 直接采用替换法检验，即在检查传感器、继电器、电磁阀及其线路均无故障时，我们会怀疑是否是 ABS 的 ECU 有故障。这时，可以用新的 ECU 替代，如果故障现象消失，怀疑就被证实。

9）检查 ABS 压力调节器时，用电阻表检测电磁阀线圈的电阻，对电磁阀进行动作试验，即给制动压力调节器电磁阀加上其工作电压，看阀能否正常动作。如果不能正常动作，则应更换制动压力调节器。如果怀疑是制动压力调节器有问题，需解体检查，则应在制动压力调节器内无高压制动液时，仔细拆开调节器进行检查。

10）ABS 制动系统的排气应注意使制动系统处于无真空助力状态。当对 ABS 液压调节器解体检修后，除了按常规制动系统进行加液和排气外，还需对 ABS 液压调节器内的第二回路（图 2-12 中出油电磁阀与蓄能器、液压泵之间）进行排气，否则在 ABS 起作用后，调节器内第二回路的空气将进入正常制动的液压回路，之后就会导致制动不良。这一般需要借助专用诊断电脑进行排气操作，它实际上是在排气过程中对液压泵、电磁阀进行控制，使电磁阀内及第二回路中的空气能迅速排出。如没专用诊断电脑，在排气过程中可人为直接通电控制液压泵、电磁阀，也能将空气排出。不同形式的 ABS，其排气程序可能会有些不同，应参照相应的保养手册进行排气操作。

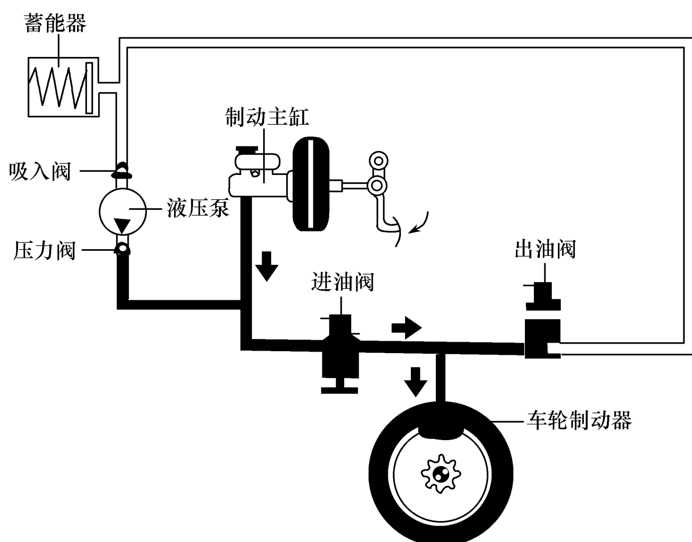


图 2-12　ABS 液压调节器内液压回路示意图

11）ABS每年应更换一次制动液，以确保制动的可靠性。

12）对于ABS系统的偶发性故障，可像检修发动机电控系统一样采用故障征兆模拟法。

① 当振动可能是主要原因时，可分别将接头、线束轻轻地上下左右摇动，将其他运动件（如车轮轴承等）轻轻摇动。如果线束有扭断或因拉得太紧而断裂，就必须更换新件，尤其是传感器在车辆运动时因为悬架系统的上下移动，可能造成短暂的断路或短路。因此检查传感器信号时，必须进行实车行驶试验。

② 当过热或过冷可能是主要原因时，可用吹风机加热被怀疑有故障的部件，用冷喷雾剂检查是否有冷焊现象，如可将ABS ECU用塑料袋包住放入冰箱中冷却一下检查冷态下的不良。

③ 当电源回路接触电阻过大可能是主要原因时，可打开所有电器开关，包括前照灯和后除霜开关。如果此时故障没有再现，就必须等到下次故障再出现时才能诊断维修。一般来说，偶发性故障只会愈变愈糟，不会变好。

13）ABS系统的常见故障的之一，就是在低速时ABS起作用。踩制动踏板时有振颤的感觉，有时发出“咕噜、咕噜”的声音。这种故障通常都是车轮转速传感器本身不良及间隙不当引起的，当然也不排除电控单元或液压调节器有问题的可能。

4. 制动主缸故障的诊断

1）踩踏制动踏板，检查主缸故障，确定所需的修理。因主缸缺陷而引起的三种常见故障是制动衰退、制动踏板松软和踏板力过大。在认定主缸故障之前，必须对全部制动部件做全面的检查。

如图2-13所示，连接压力表，并排除空气。在发动机工作且车辆原地不动情况下踩下制动踏板，如果制动踏板位置很高，有踏不下去的感觉且油压高，说明主缸正常。油压显示过低，即可说明主缸不良。踏板缓慢下沉至地板，可判断主缸皮碗发生泄漏，这种现象通常也叫“旁通”。如果皮碗损坏，空气也能通过皮碗进入制动液中，引起踏板松软的感觉。

如图2-14所示，主缸内孔的腐蚀可引起主缸皮碗膨胀，进而引起过大的踏板力。如果储液罐盖油封严重膨胀，则应估计制动液已被润滑油、传动油、动力转向液污染。若制动液确已污染，则必须对制动系统做全面检查。污染的制动液将损坏制动钳、轮缸和其他制动部件中的所有橡胶部件和油封，在这种情况下必须清除制动系统中的被污染制动液，更换主缸、制动钳和轮缸中的所有油封和皮碗。此外，只要油管从主缸或其他部件上分离，制动系统便必须排气，以清除油管和主缸中聚集的空气。

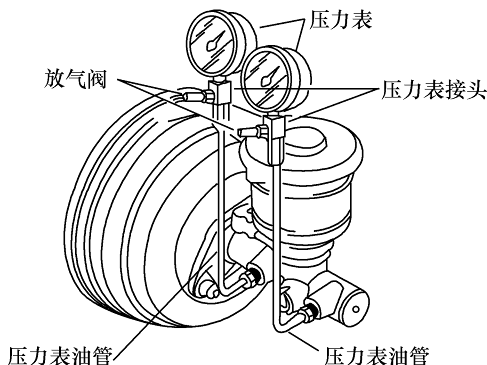


图2-13　制动主缸的检查

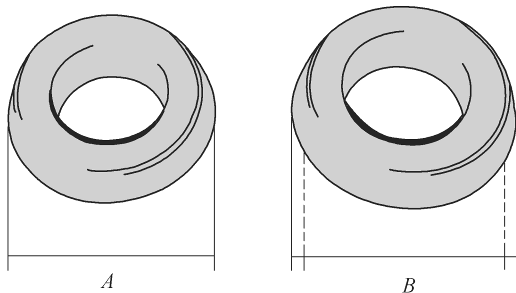


图2-14　主缸皮碗

A—橡胶皮碗的原始尺寸　B—橡胶皮碗发胀后的尺寸

2）诊断主缸制动液外漏的原因。主缸制动液外漏易于诊断。应彻底清洁主缸并检查液面高度，检查储液罐油封的状况，确认储液罐盖搭扣紧密到位。如果制动液面降低，它可能是正常的，因为制动块会磨损。否则便是泄漏的征兆。

为了准确判断问题所在，必须对整个制动系统做全面检查。如果主缸后部出现油迹或助力器油漆起泡，可检查主缸后部的制动液泄漏；如果油迹出现于助力器螺栓与主缸的连接处，则可能是助力器内部存有制动液，助力器必须全面检查并清洁，可能需要更换。

某些主缸带有制动液储液罐，它装在主缸缸体上，应检查储液罐油封和储液罐盖是否泄漏。

3）从车上拆下主缸，台架排气并测试，安装主缸，确认主缸功能。更换主缸通常较简单，可从清洁主缸和其附近表面开始，拆开制动液油管，堵塞主缸及制动液油管口，分离连接于主缸的电线，拆下连接于制动助力器的连接螺母，如果车辆使用的是人力制动器，则从制动板上将推杆分离。小心地将主缸从车内取出，避免将制动液洒在汽车表面，使用防护罩，避免制动液损坏油漆。

新主缸安装之前，必须进行台架排气。在台钳上紧固主缸，向储液罐注入清洁制动液。保持主缸处于水平位置。通常，新的或修复的主缸在到货时都带有一对塑料接头和软管，可将接头拧在主缸出油口上，将软管一端连接出油口，另一端放入储液罐（图 2-15）。保证二软管浸入制动液中，然后利用螺钉旋具或细棒缓慢推动主缸活塞进出，直至主缸内的空气被完全排出。

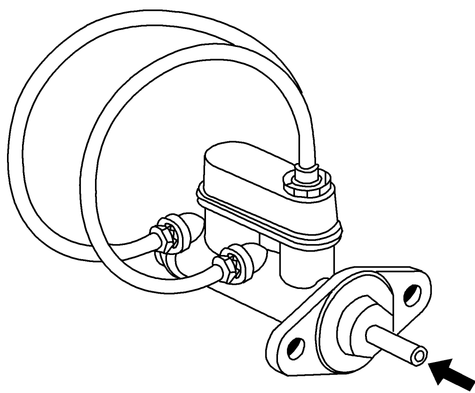


图 2-15　制动主缸工作台排气操作

将主缸装入车内，检查踏板高度和制动踏板自由行程。主缸安装完毕后，必须对整个制动系统进行排气操作，确保系统内的所有空气均已排出。最后，路试车辆，确认主缸和制动系统工作正常。

注：有的车采用异径主缸（二级孔径主缸），它有两个不同孔径的内孔，这样可改善低拖滞盘式制动器的制动效能。二级孔径主缸中，前孔略小于后孔，这种结构使小孔径液压缸输出小流量高压制动液，而大孔径液压缸输出大流量低压制动液。开始制动时，大孔径液压缸的大容量制动液推动制动钳活塞和制动摩擦块，一旦制动块与制动盘接触，小孔径液压缸便提供高液压力。二级孔径主缸一般必须在台架上排气。装车以后几乎不可能排净主缸内的空气。

处理二级孔径主缸问题时，应注意它们与其他类型主缸的不同之处。千万不要给二级孔径主缸充注过量的制动液，否则将引起前制动器拖滞或制动踏板力过大。引起踏板力过大或踏板过硬的另一原因是二级孔径主缸快速吸取阀的阻碍或阻塞。另一方面，如果快速吸取阀过早开启，可引起踏板过低问题。

快速吸取阀的缺陷可引起前制动钳的拖滞，并造成制动块过早的不均匀磨损。

4）测量并调节主缸推杆长度。诊断制动问题时，经常忽略制动踏板高度和推杆的调节。实际上，正确的推杆调节十分重要，它直接影响车辆能否正确制动。推杆顶部和与之相配的主缸表面之间应留有很小的间隙。大多数推杆都可以调节，可松开其锁紧装置并转动推杆顶

部的调节螺钉来进行调节。推杆过长将引起主缸活塞行程过量，造成活塞油封的损坏和主缸的损坏，推杆过长还会引起活塞油封堵塞补偿孔，引起制动器拖滞或抱死。如果车辆反复出现主缸故障，应检查推杆是否过长。推杆过短会使制动时液压不足，因而会降低车辆总体制动能力。

5. 制动助力装置的检查诊断

目前，大多数轿车仍采用真空助力器作为制动助力装置。其采用进气歧管的真空或真空泵产生的真空作为助力的动力源。

（1）真空助力器的构造与工作原理　真空助力器的一般构造如图 2-16 所示。图 2-16 中为单膜片（单活塞）式真空助力器。图 2-17 为双膜片（双活塞）式真空助力器。

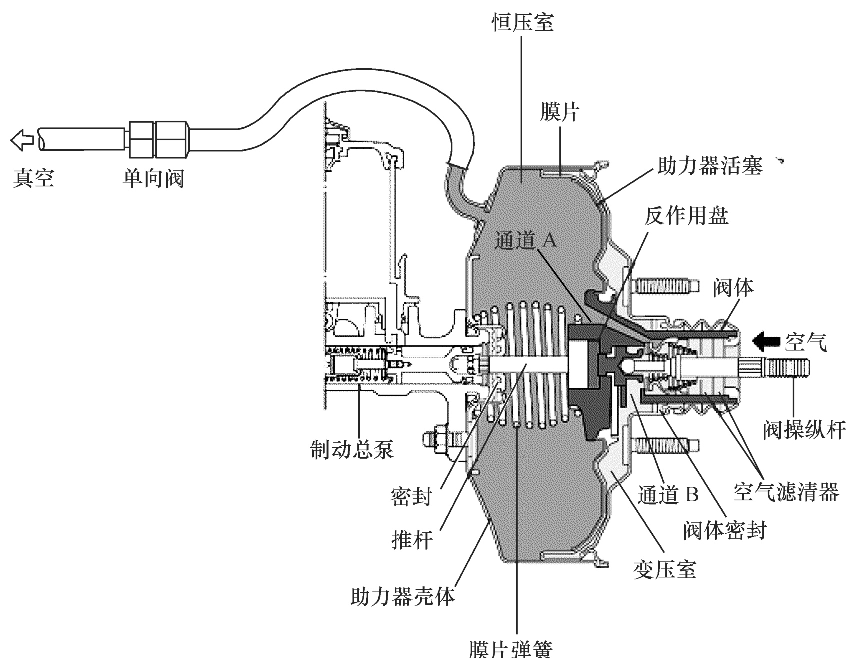


图 2-16　单膜片（单活塞）式真空助力器

1）制动器不工作时。空气阀连接在阀操纵杆上，并由空气阀回位弹簧将其向右拉动。控制阀由控制阀弹簧向左推动，这样使空气阀接触到控制阀。因此，防止通过空气滤清器滤芯的大气进入变压力室。

在这种情况下，阀体的真空阀是与控制阀分开的，在通道 A 与通道 B 之间形成一个开口。由于在恒压室里始终有一个真空，所以此时在可变压力室也有一个真空。结果是由膜片弹簧将活塞向右推动。

2）制动器工作时。当踩下制动踏板时，阀操纵杆推动空气阀，使它向左移动。

由控制阀弹簧推到顶住空气阀的控制阀也向左移动，直到它接触到真空阀为止。这样阻塞通道 A 与通道 B 之间的开口。

当空气阀向左更远移动时，它将移动离开控制阀。这样让大气通过通道 B（通过空气滤清器滤芯后）进入可变压力室。恒压室与可变压力室之间的压力差使得活塞向左移动。这样又依次使反作用盘向左移动助力器推杆并增加制动力。

3）保持状态。如果制动踏板踩下一半，阀操纵杆和空气阀停止移动，但是，活塞由于压力差继续向左移动。控制阀弹簧使控制阀保持与真空阀接触，但是，与活塞一起移动。

因为控制阀向左移动并接触到空气阀，防止了大气进入可变压力室，故可变压力室里的压力稳定。结果是在恒压室与可变压力室之间有一个恒定的压差，因此，活塞停止移动，仍保持现有的制动力。

4）最大助推力。如果制动踏板踩到底时，空气阀就完全移动离开控制阀。在这种情况下，可变压力室注满大气，这时在恒压室与可变压力之间压力差变得最大。这导致最大的助推力作用在活塞上。

即使此后把附加力施加到制动踏板上，对活塞的助推力仍保持不变。附加力仅施加到助力器推杆上，再原样传送到总泵上。

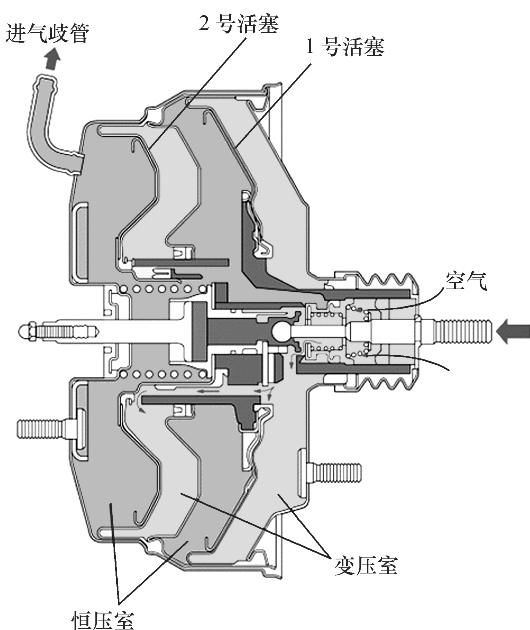


图 2-17　双膜片（双活塞）式真空助力器

5）非真空状态。如果由于某种原因，真空未能施加到制动助力器上，在恒压室与可变压力室之间（当两个空间注满大气时）就不存在压力差。当制动助力器处于“断开”位置时，由膜片弹簧把活塞推回到右边。

尽管如此，踩下制动踏板时，阀操纵杆向左前进并推进空气阀，反作用盘和助力器推杆。这使总泵活塞把制动力施加到制动器上。同时，空气阀推动插入阀体的阀定位销。因此，活塞还克服膜片弹簧的弹力，向左移动。

于是，即使在没有真空施加到制动助力器上时，助动器仍保持作用。但是，因为制动助力器不再工作，制动踏板就会感到“很重”。

（2）真空助力器的功能检查　制动助力器利用发动机真空与大气压力之间的压差产生助力。因此，可以用下面检查方法来检查制动助力器功能。

1）气密性功能检查。产生助力要求在制动助力器内必须保持真空，恒压室和可变压力室必须用真空阀完全关闭和空气必须从空气阀流出。

① 运行 1～2min 后停止发动机，让制动助力阀形成真空。

② 踩下制动踏板数次。当进行这种操作时，如果制动踏板第二次或第三次的位置要比第一次高的话，关闭止气阀或真空阀，开启空气阀，并让空气进入。从这里就可以确定各阀的气密性是否正常，如图 2-18 所示。

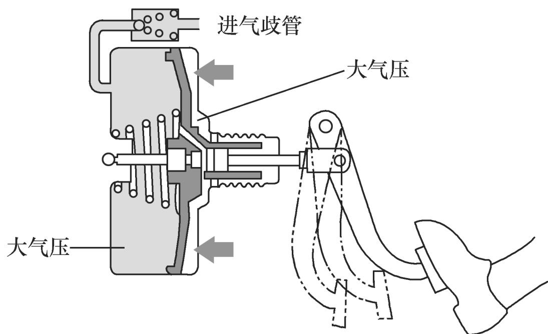


图 2-18　真空助力器气密性功能检查

2）操作检查。如果发动机起动，而且制动助力器里没形成真空，关闭真空阀并开启空

气阀，就会使恒压室形成真空。在此时可以用制动踏板情况来检查动力助力操作情况，如图 2-19所示。

① 发动机停机时，踩下制动踏板几次，让空气进入恒压室。

② 踩下制动踏板，起动发动机，就形成真空并且在恒压室与可变压力室之间产生压力差。

如果此时制动踏板略有下沉，就可以确定已经产生正常的助力。

3）负载气密性功能检查。如果在踩下制动踏板时发动机熄火，此时可用制动踏板情况来检查恒压室中是否有真空泄露。

① 发动机运行时踩下制动踏板。

② 踩下制动踏板时断开发动机。

在保持状态中，恒压室与可变压力室之间的压差应保持不变。因此，如果制动踏板高度不变连续保持 30s，就可以确定单向阀和真空阀关闭正常，恒压室没有问题，如图 2-20所示。

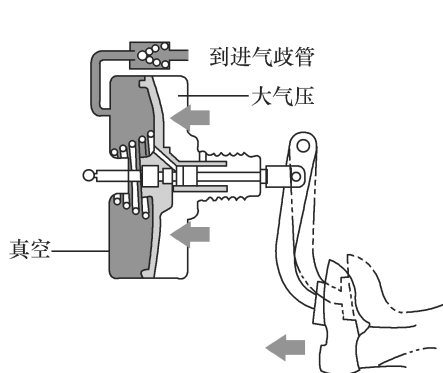


图 2-19 真空助力器操作检查

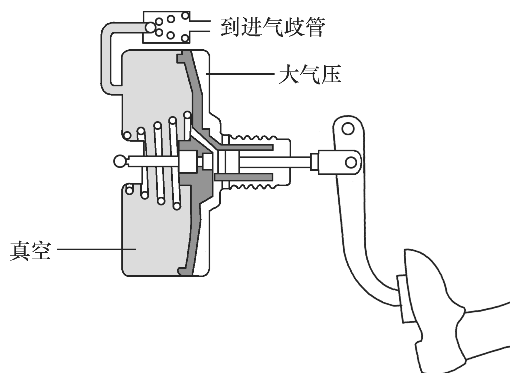


图 2-20 真空助力器负载气密性功能检查

检查制动助力器真空软管上的单向阀时，以 2000r/min 的转速运转发动机，然后使发动机怠速，最后使发动机熄火，等待 90s，再踩踏制动踏板 5～6 次。头两次踏板动作应有助力。如果头两次踏板动作无助力，则可判定制动助力器真空软管内的单向阀已经失效。

进气歧管真空不足，真空管路泄漏或扭折，膜片穿孔或活塞油封泄漏均会造成助力器助力不足。制动踏板踏下时如能听到持续的“咝咝”声表明存在泄漏，将影响助力器的工作。制动踏板过硬通常是助力器出现完全失效趋势的第一个信号。

（3）奥迪 Q7 主动式制动助力器

1）主动式制动助力器的任务及作用。主动式制动助力器的任务是在驾驶员未踩下制动踏板的情况下建立制动压力。在 ESP（电控行车稳定系统）的某些调节过程中需要这项功能。快速建立制动压力对于防侧翻稳定调节和车辆转向过度时的 ESP 干预来说至关重要。

基于该目的，通过控制主动式制动助力器在 ESP 泵的吸气侧建立起压力。由于 ESP 泵的输出功率的升高，建立制动压力的速度更加迅速。

奥迪 Q7 主动式制动助力器液压回路如图 2-21 所示。

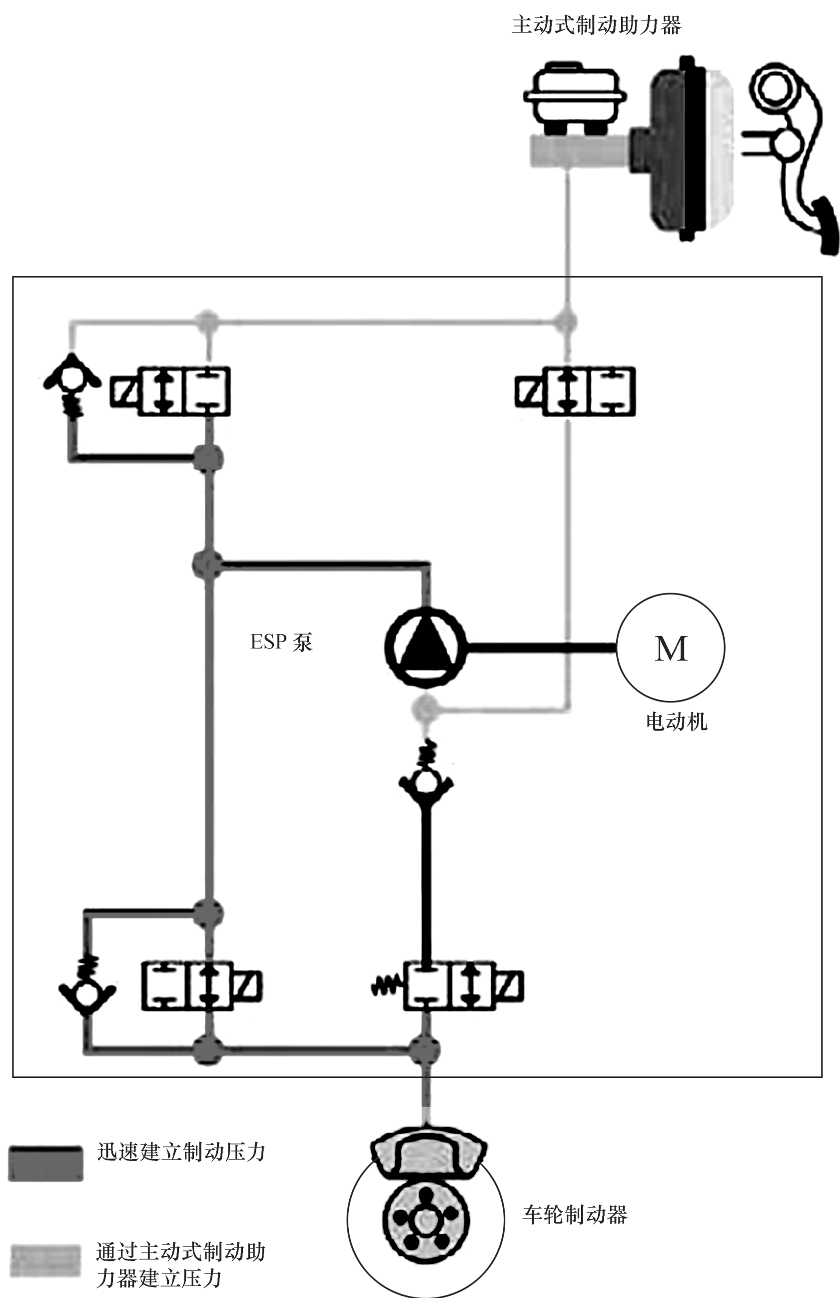


图 2-21　奥迪 Q7 主动式制动助力器液压回路示意图

2）奥迪 Q7 主动式制动助力器的结构与工作原理。与传统的被动制动助力器不同，主动式制动助力器中集成了一个电磁控制阀，如图 2-22 所示。阀体通过一个比例电磁阀（按比例无级调节励磁电流）进行操控。

电磁阀由 ESP 控制单元进行控制。通过主动式制动助力器中的一个释放开关识别驾驶员是否踩下或松开制动踏板。释放开关被设计为一个双向开关（打开和关闭）。

在静止位置中或电动操纵制动助力器时，释放开关与主动式制动助力器壳体接触并连通

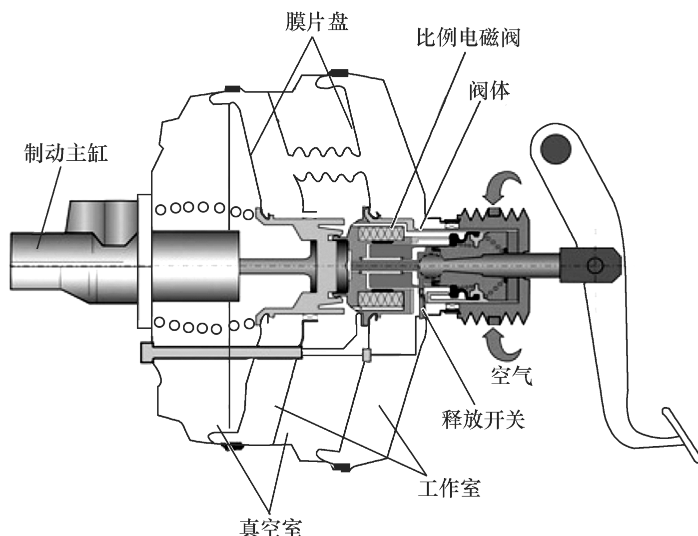


图 2-22 奥迪 Q7 主动式制动助力器的结构

电路 1，如图 2-23 所示。

如果驾驶员踩踏制动踏板，操纵杆便会移动。使得释放开关与主动式制动助力器壳体分离。电路 1 断开，电路 2 接通，如图 2-24 所示。

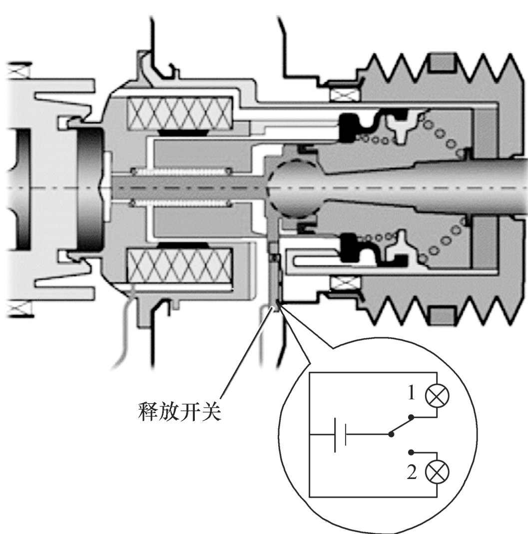


图 2-23 主动式制动助力器释放开关的工作情况（静止位置中或电动操纵时）

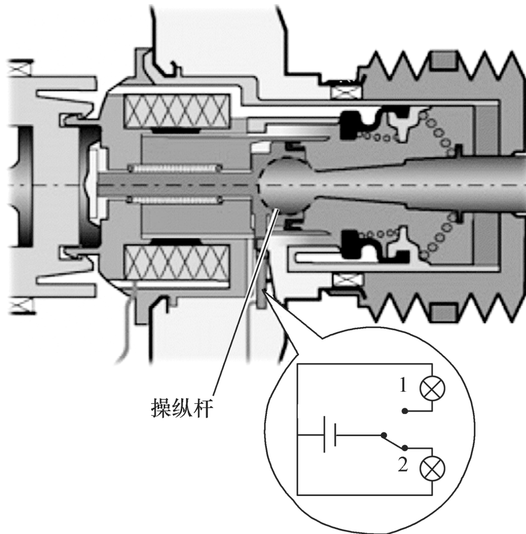


图 2-24 主动式制动助力器释放开关的工作情况（制动时）

① 未操作状态。比例电磁阀未通电流，制动踏板未被操作。主动式制动助力器的功能取决于用作阀体的密封边和盘式密封件。根据阀体边缘的位置，在主动式制动助力器工作室中产生一定的压力。

在如图 2-25 所示的未操作状态下，通过密封边及盘式密封件的使用，使两个阀体均处于关闭状态。在工作室中，由真空供给装置（进气管或泵）提供一定的真空度。

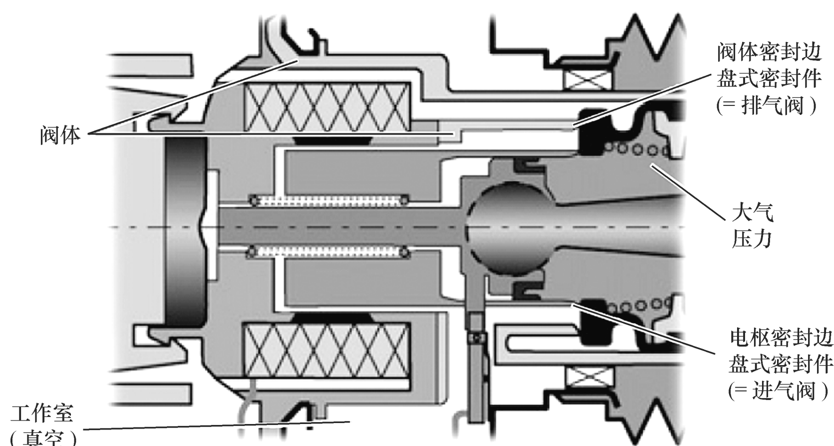


图 2-25 主动式制动助力器的工作情况（比例电磁阀不通电的未操作状态时）

② 建立压力。比例电磁阀由 ESP 控制单元供电。产生的磁力使电枢克服电枢弹簧的阻力，沿箭头方向移向邻接定子的位置。从而使电枢的密封边与盘式密封件分离，进气阀打开，如图 2-26 所示。

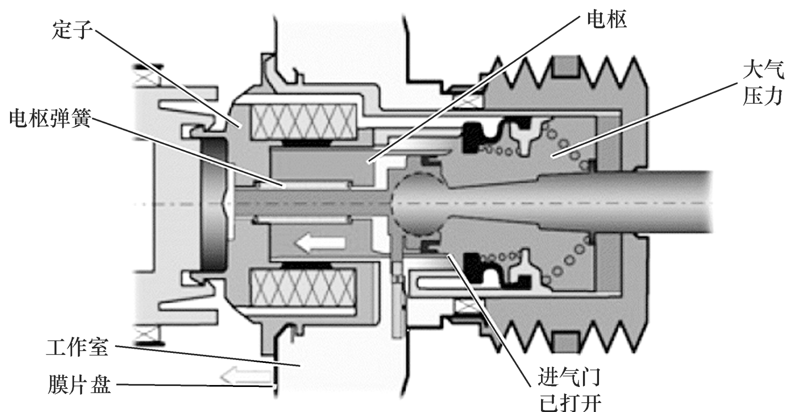


图 2-26 主动式制动助力器的工作情况（比例电磁阀通电，建立压力）

标准大气压力的空气流入工作室。

由于真空室和工作室之间的压力差，膜片盘沿制动主缸的方向（沿箭头方向）移动，从而建立起制动压力。

③ 保持压力。电磁线圈中的电流减小。因此，电枢在电枢弹簧的作用下与定子分离(箭头方向)，如图 2-27 所示。

电枢的密封边再次移至邻接膜片弹簧的位置，进气阀关闭。工作室中的部分真空保持恒定，制动压力也保持恒定。

④ 压力解除。如图 2-28 所示，如果电磁线圈断开，电枢将会在电枢弹簧的作用下与定子进一步分离。同时，电枢通过进气阀的密封边将膜片弹簧压回，排气阀被打开。工作室和真空室连通。空气从工作室流入真空室，直到两室内的压力达到平衡。

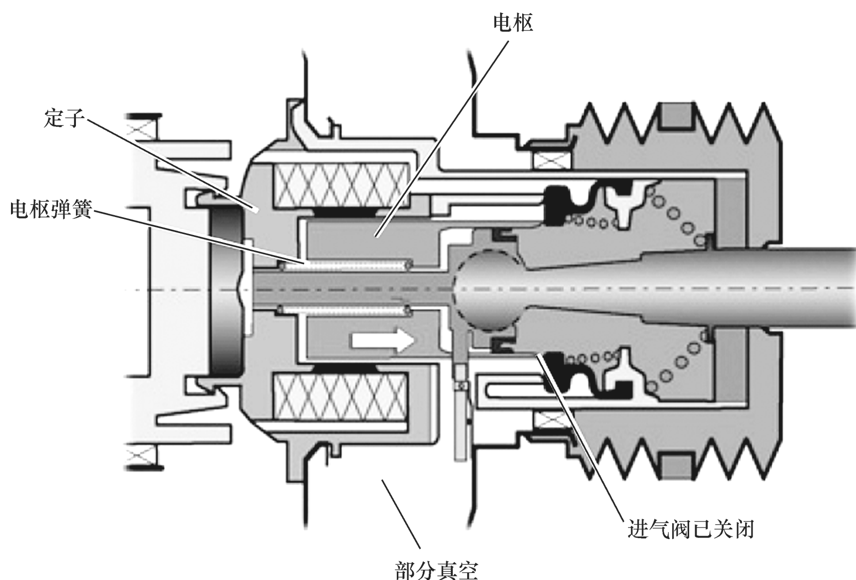


图 2-27　主动式制动助力器的工作情况（比例电磁阀通电保持压力）

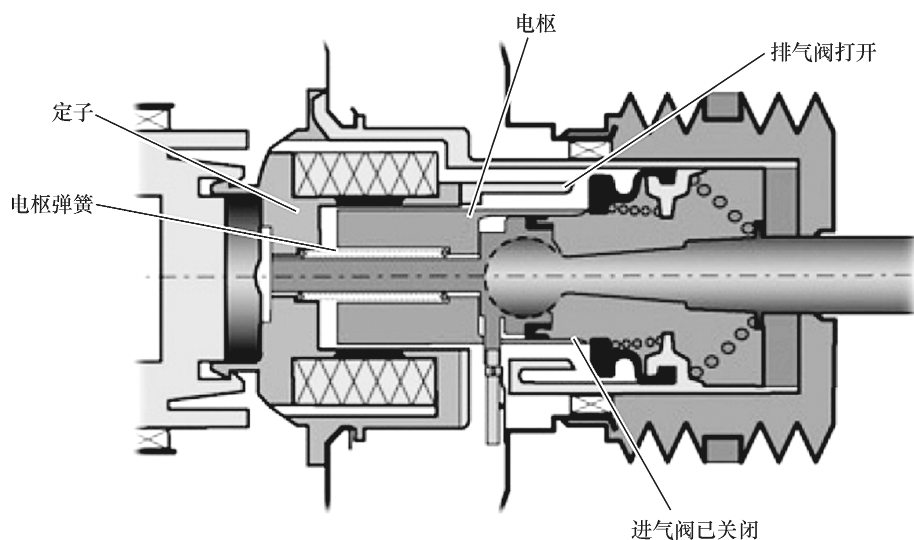


图 2-28　主动式制动助力器的工作情况（比例电磁阀断电，压力解除）

6. 制动系统管路及阀的故障诊断

（1）制动系统管路　制动管路有刚性制动管与软管。一定要用符合原装件安全标准的替换软管。替换的软管尺寸应与原来的相同。太长的软管可能与底盘摩擦，太短的软管在可动元件达到其行程极限时可能断裂。

有时（虽不太经常）有些制动卡钳元件和软管可能是反扣的（即左旋为拧紧）。这种紧固件在螺栓或螺母的平面上有时用一刻痕表示。拆卸旧软管前，清除软管端所有尘土以减小组装时尘土进入系统的危险。绝大多数软管用软管夹固定在底盘上，管夹保持软管不与车架

或悬架摩擦。还应对制动软管进行目视检查，检查有无鼓包或裂纹等现象，如图 2-29 所示。

主缸通过一套制动油管和软管将液压力传递到轮缸或制动钳上，软管则连接于车体上的刚性油管和制动钳或轮缸之间，起到柔性连接的作用。整个制动系统内，制动液的压力和流量必须符合规范要求。即使油管或软管的部分堵塞也会影响液流的畅通并引起问题。施加的制动压力可能足以驱使液流流过堵塞部位，但制动将不易解除或解除缓慢，这会造成制动器拖滞。如果堵塞发生在一个车轮上，则车辆制动时将向一侧跑偏。软管可能出现的内部缺陷如图 2-30 所示。

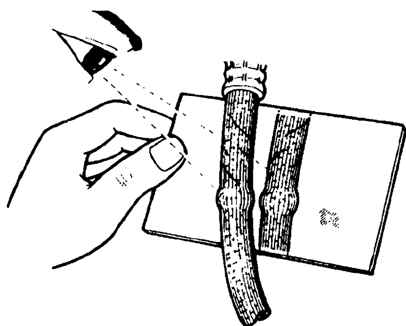


图 2-29　检查制动软管有无鼓包或裂纹

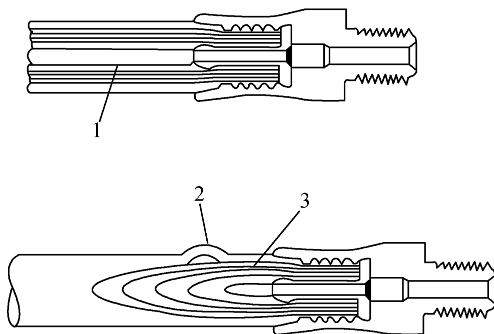


图 2-30　制动软管内可能有的内部缺陷

1—撕破的内衬起单向阀作用

2—局部隆起　3—泄漏污斑

制动油管的凹陷或弯折可能会影响制动液压，还应检查各接头是否泄漏，并加固。检查车架、底盘、后悬架和减振器上的安装支架，日久天长，这些支架和支座可能松动或腐蚀，从而引起制动油管或软管的移动，并造成油管的损坏。对于旧车和在冬天撒盐区域使用的汽车，应着重检查腐蚀和锈蚀。锈蚀的油管会变得疏松，并最终造成制动液的泄漏。制动系统绝对不能使用铜制油管，因为铜管在长期使用中会发生疲劳和腐蚀，造成液压回路故障。

新油管或软管安装后，整个制动系统必须排气。然后，踏下制动踏板，检查有无泄漏。最后，路试车辆，并确认制动系统工作正常。

所有制动油管和软管都必须布线正确，它们不得与其他部件发生干涉或摩擦。此外，不得靠近发热量大的部件，如排气管或催化转化器。

制动油管及软管必须牢靠紧固在它们的支架上，多余的活动或振动将引起疲劳，最终造成损坏。

制动系统排气完毕后，向储液罐充注制动液至正确高度，用力踩制动踏板数次，然后检查制动软管接头处是否泄漏。

（2）制动系统的阀和开关　为提供均匀平衡的制动效果，以及对不明问题给予警示，液压制动系统可能使用多种不同的阀。最常见的阀是计量阀、比例阀和压差阀。有时这些阀同时装在一个总成内，此总成称为组合阀。

阀的故障能引起制动器拖滞、后轮抱死或制动时前轮抱死。

计量阀用于前盘后鼓制动装置的汽车上，它的作用是延缓前制动器的工作，直到后制动蹄克服弹簧的张力开始作用为止。这样就保证了前后制动力的同时施加。如果没有计量阀，前制动力的施加就会显得过快。

计量阀失效会引起制动时车辆点头和前轮抱死，此时前制动器的初始压力很高。计量阀失效还会引起前制动块过早磨损。对于计量阀，应检查其泄漏。

比例阀也应用于前盘后鼓制动装置上，它控制并限制后制动器的液压。轻微制动时，施加于各轮的液压大致相等。若制动踏板继续下踩，后轮开始抱死的可能便增加。比例阀可防止紧急制动情况下的后轮抱死。车辆若采用双回路对角制动系统，则比例阀也需应用双比例阀。

比例阀失效可引起紧急制动情况下后轮抱死，这将使车辆失控。

压差阀用于警告驾驶员有关制动系统的液压故障。此阀组合有一个开关，开关可闭合并点亮仪表板上的制动报警灯。压差阀利用一个小活塞，浮动安置在压差阀的缸体内，它将制动系统分为两部分，正常情况下，活塞位于阀的中央，当一侧制动系统发生严重泄漏时，活塞便向低压侧滑动。

当车辆修理且制动系统排气完毕后，压差阀应自动复位。如果仪表板报警灯不熄灭，则压差阀需要重新对中，参阅生产厂的有关程序，给压差阀对中。

组合阀将计量阀、比例阀和压差阀组合成一体。如果组合阀的任何功能失效，组合阀便需更换。

感载比例阀安装在底盘上，连杆将阀与后桥连接。负载很轻时，连杆定位阀的位置使中等程度制动时后轮的制动液压减小。当重负载加在后悬架上时，后底盘的高度便减小，这就促使连杆推动感载比例阀的阀芯。此时，在中等程度制动时，比例阀将不会减小通向后制动器的液压。

有一种感载比例阀，在后桥上装有支架，一根弹簧将支架与比例阀的端杆连接起来，而比例阀则安装在底盘上。

紧急制动时，车辆前、后桥的负载发生变化，改变了底盘的高度。此时后底盘的高度增加，而传送至后轮的制动液压降低。

车辆改型若改变了行驶高度，将影响感高型比例阀的工作。

比例阀连接到后轮，故可在每个比例阀的主缸一侧和轮缸一侧连接压力表。轻踩制动踏板且主缸液压低于分路点液压时，两压力表的读数应相同。如果踏板力增加，且主缸压力高于分路点压力，主缸的压力便高于轮缸的压力，其差值应与厂家的规范一致。对感载比例阀，可以通过测量前后轴不同载荷时前后轮制动压力进行判别，如图 2-31 所示。其值应符合原厂规定。

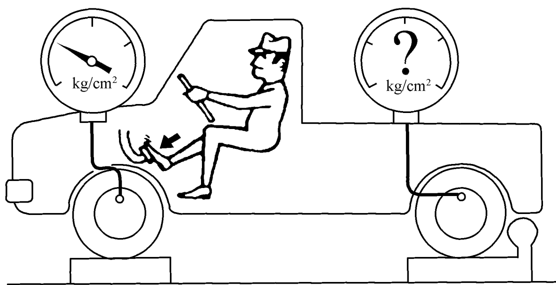


图 2-31 检查前后轮制动压力来判断比例阀性能

7. 鼓式车轮制动器

如果轮缸活塞在孔内卡滞，将造成制动器拖滞。如果活塞粘附在外端，除造成制动器拖滞外还会引起制动蹄过早磨损。

制动底板弯曲，制动鼓扭曲，制动蹄两端摩擦衬面松动，摩擦衬面在制动蹄上的位置不正确，制动蹄限位弹簧松软或断裂，车轮轴承松旷等因素都能引起制动噪声。制动器调节不

良，制动底板松动，摩擦衬面污染，制动鼓失圆、锥状变形，制动蹄翘起或扭曲，车轮轴承松旷等因素可能引起制动振颤。

制动踏板脉动可能因制动鼓失圆引起。

制动拖滞或制动抖动可能因制动蹄污染引起，应检查制动蹄摩擦面有无被制动液或后差速器润滑脂污染的痕迹。另外，应检查轮缸活塞是否卡滞，如果制动解除后轮缸活塞不能回位，必将造成制动器拖滞，而制动器拖滞又将造成制动器过早磨损和摩擦衬片过热。

制动鼓的检查包括：裂缝、热裂、失圆、喇叭口变形、擦伤和硬斑。使用制动鼓千分尺测量制动鼓内径。制动鼓内径经加工后不得超出工厂规范的最大值，这个最大内径值一般可在制动鼓的非工作面上找到。制动鼓最大圆度误差允许值一般是 0.10mm。如果制动鼓圆度误差超出规范要求，可对制动鼓进行机械加工，只要加工后内径不超出最大允许直径就行。

在进行制动器检查时，应查看各回位弹簧是否变形和拉长，制动蹄是否脱焊、开裂、磨损和变形。如果制动蹄发生不均匀磨损，表明制动蹄已变形。检查各弹簧夹和杠杆是否磨损和弯曲，查看制动摩擦衬面是否被润滑油、润滑脂或制动液所污染。清洁并润滑和调节自动调节机构。

底板弯曲将导致制动蹄不能正确定位，而失去定位的制动蹄将引起制动器拖滞或抖动。底板紧固螺栓松动会引起制动振颤，因为底板活动会使制动蹄不能正确定位。

维修轮缸时，应使用变性酒精或清洁的制动液清洗各零件，如果轮缸内孔已腐蚀或深度擦伤，便需更换轮缸。活塞的平面端应面向皮碗。皮碗在安装前应使用清洁的制动液润滑。

如果制动蹄和摩擦衬片呈现少许蓝色，这是过热的标志，在此情况下，制动蹄调节螺钉弹簧和制动蹄限位弹簧应更换。

摩擦衬片若被润滑脂、润滑油或制动液污染，则必须更换。车轮的摩擦衬片应成对更换，千万不要只更换一个车轮的摩擦衬片而不更换对侧车轮上的衬面。

为检查泄漏，可翻开轮缸的防尘罩。正常情况下，防尘罩内会出现少量制动液，这并不是问题，因为它们对活塞起润滑作用。但是防尘罩内若出现大量油液，则表示油液已从活塞皮碗漏出，在此情况下更换修理包或轮缸。

在安装新制动蹄及附件时，对简单非平衡式鼓式制动器来说领蹄上的摩擦衬片一般比从蹄上的摩擦衬片长一些。它装在底板侧面，指向车辆前方，从蹄则面向车辆后方。通常领蹄和从蹄的回位弹簧不能互换。自动调节器的拉索通常置于从蹄一侧。

调节器安装方向必须正确，这样才能通过底板上的开口拨动调节器的星轮，也使自动调节杠杆能与星轮啮合。另外，也为今后拆卸制动蹄提供方便。

8. 盘式车轮制动器

盘式制动器由制动盘、制动钳总成和制动摩擦块组成。制动摩擦块安置在制动盘的两侧，通过制动钳活塞或两个活塞的液压作用夹紧制动盘。这种结构广泛应用于轿车上。

如果制动钳活塞发生阻滞、卡滞，则将影响正确的制动效能。对于装有盘式制动器的车辆，车辆一侧制动钳活塞的卡滞可引起制动时车辆跑偏，因为制动块不能正确起作用。例如若右前制动钳工作正常，而左前制动钳活塞卡滞在液压缸内，则车辆制动时将偏向右侧。如

果解除制动时，制动钳活塞因卡滞而不能回缩，则发生制动器拖滞，引起正常行驶时车辆跑偏和制动器的非正常磨损。

引起制动器拖滞的另一原因是软管故障。一根阻塞的软管，可使制动液液压正确地施加在制动钳上，但却不能完全解除此液压，因而会造成活塞部分施压，引起制动器拖滞。

应经常查看制动盘有无发蓝，那是过热的征兆。制动盘的附件、导向销、滑动装置也应仔细检查。另外，还应仔细检查各个制动钳上的制动块，若制动块磨损不均匀表明制动钳液压部分出现了问题。

制动钳有两种结构：定钳式和浮钳式。定钳式制动钳总成刚性地连接于轮轴或转向节上，施加制动时不发生运动。定钳总成在制动盘两侧各有一个活塞或两个活塞，可对制动盘施加液压力。

浮钳（或滑动钳）只在制动盘的一侧有活塞，且通常只有一个活塞受液压作用。当液压作用于制动钳活塞时，制动钳会产生运动或滑动，使制动钳内的两个制动块同时向制动盘两侧面施加压力。这种制动钳或者能在制动钳导向销上浮动，或者在加工表面或支架上滑动，浮钳式结构经常出现的问题是制动块的锥状磨损。导向销的卡滞或阻滞、附件的磨损或支承面的腐蚀都会造成制动钳不能在制动时浮动。如果车辆一侧制动钳发生卡滞，则制动时车辆会跑偏。

查看所有的制动钳附件，包括消声片、制动钳导向销、制动钳滑动装置和调整垫片。附件的磨损或丢失会引发噪声、振颤、制动啸声或制动块振动。

制动盘端面圆跳动过大或车轮轴承松动会引起制动踏板的脉动。制动盘厚度变化（平行度）会引起制动振动。卡滞或阻滞的制动钳会造成制动器拖滞或因过热而损坏制动盘，也可能造成制动块过热而过早发生不均匀磨损。

绝大多数采用四轮盘式制动器的车辆上，后制动钳总成同时设置有驻车制动机构，如图2-32所示为2008款丰田卡罗拉的后轮制动钳。这种制动钳在正常制动时，施加在活塞上的是液压力，而在驻车制动时，则对活塞施以机械力。

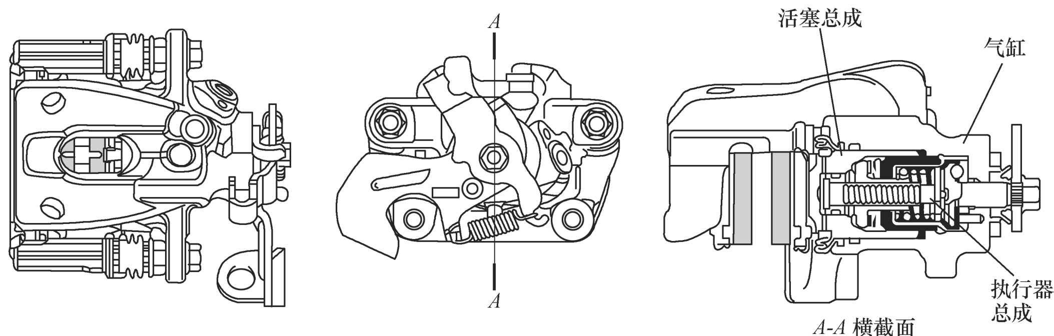


图 2-32　2008 款丰田卡罗拉的后轮制动钳

当驻车制动拉索作用于连接在制动钳后部的杠杆上时，制动钳活塞发生转动并向外伸出，两制动块便能夹住制动盘，阻止车轮滚动。

在更换这种制动钳上的后制动块时，应将制动钳活塞收缩到底。此时需使用一种专用工具或类似工具从支座上拆下制动钳，拆下两制动块，利用此专用工具（图 2-33），顺时针转

动活塞，直至缸内活塞座落到底。活塞转动时有一定阻力，但在工具压力作用下它会回缩。如果发现活塞卡滞，则需更换制动钳。

安装这种后盘式制动器制动片时还应注意通过转动活塞后部，用内制动摩擦块上的凸起部对准活塞上的槽（图 2-34）。必须正确地安装活塞防尘套，不得扭曲。安装时，若防尘套扭曲，将它退出，直到安装正确为止。最后，重新安装卡钳总成及卡钳罩。

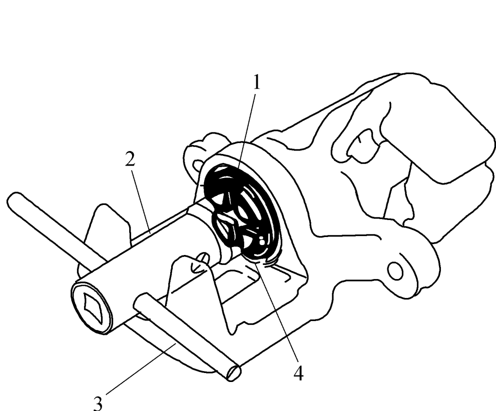


图 2-33　用锁紧螺母扳手拆卸卡钳活塞

1—活塞防尘套　2—锁紧螺母扳手

3—加长杆　4—活塞

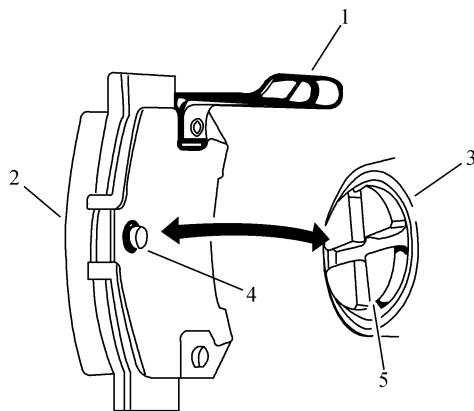


图 2-34　有些制动器衬片安装要求活塞对准内摩擦块上的凸起

1—磨损指示器　2—制动器衬片　3—活塞

4—凸起　5—活塞上的槽

制动钳组装完毕后，还需检查驻车制动的功能，若需要，对驻车制动拉索进行调节。

制动钳在其支座或支架上安装正确，对实施正确制动至关重要。磨损引起的配合松动将引起制动时的噪声和制动钳的过度运动，此时制动钳可能向一侧摇动而不发生滑动。这种情况必须纠正。制动钳、滑动装置、支座板、支架或制动钳导向销如磨损严重，则需更换。最后，所有接触表面都需用适当的制动钳润滑脂进行润滑。

绝大多数制动钳滑动导向销的表面有抗腐蚀保护层，如果导向销剥蚀或腐蚀，不要擦光或磨光其表面，必须更换。使用适当的制动器润滑脂润滑导向销、滑动装置和制动块安装部位。

可利用压缩空气拆卸制动钳活塞，也可利用活塞拆卸工具。如果利用压缩空气，则应将制动钳夹持在软钳口的台虎钳上，在活塞和制动钳体之间放一个木块，将压缩空气从制动液进油口送入，迫使活塞从孔内滑出。应注意：活塞滑出时力量很大，双手不要靠近。

拆下活塞后，仔细挑出防尘罩和制动钳油封，彻底清洗制动钳内孔，检查有无腐蚀和剥蚀，内孔的微小缺陷可珩磨将其去除。如果严重腐蚀或磨损，便需更换制动钳。如果内孔已经珩磨，应检查活塞与孔的间隙。若间隙超过生产厂家规范要求，便必须更换制动钳。检查活塞上油封环槽（油封或装在活塞上或装在制动钳内孔处），若环槽已剥蚀或损坏，需更换活塞。当环槽设置在内孔上时，检查剥蚀和腐蚀，若油封环槽或内孔已损坏，更换制动钳总成。

仔细检查制动钳活塞的磨损和损坏情况。对于镀铬活塞，铬层不应剥落，活塞也不应出现划痕和剥蚀。对于酚醛树脂活塞，应检查有无开裂、碎屑或擦伤。只要活塞损坏，便需更换。重新组装制动钳时，应使用新的防尘罩和新的活塞油封。

制动钳组装前，先用清洁的制动液润滑制动钳油封、活塞和内孔。对于油封装在活塞上

的这一类制动钳，可先将油封和防尘罩安装到活塞上，然后将活塞压入制动钳内孔，直至完全到位，再利用适用工具将防尘罩落座在制动钳上。可使用C形压紧装置将活塞完全落座到位。对于油封装在内孔上的这一类制动钳，首先应安装油封，然后使用适用的工具将活塞压入内孔至完全到位，最后安装防尘罩。

拆下制动盘，检查有无损坏，检查其摩擦表面有无剥蚀或磨损环槽，有无热裂或损坏。制动盘表面出现蓝斑则表明它已受到过热损坏。若制动盘出现裂缝，则需更换。

检查各制动盘的轴向圆跳动（侧向圆跳动）、平行度（沿圆周厚度相等）和最小厚度，这种测量也可在制动盘未从车上拆下时进行，这时需先拆下制动钳。

制动盘厚度若低于规范要求，则需更换。规范规定的最小厚度通常印在制动盘上，或者可在维修手册上查到。

制动盘加工后，应测量其最小厚度，如果厚度已低于最小规定值，应更换此制动盘。对于可用的制动盘，应使用专用的车床附件对其表面进行无方向性打磨，这有助于制动块与制动盘表面的良好接触。也可以使用细粒度磨石打磨。此时制动盘每面应打磨30s，便可获得光滑的无方向性的表面。制动盘加工后必须彻底清洗，最好用肥皂水，只需将制动盘浸入肥皂水清洗便能去除加工遗留的细屑。使用制动器清洁剂或擦拭不是最好的方法，因为遗留的金属细屑会嵌入制动块中，引起制动啸声。

多数车同一车轴上左、右侧制动器制动盘是可以互换的，但如果通风槽如图2-35所示，则不能装错，这会影响其散热性能，其上有左右侧的标记，图中为右侧。

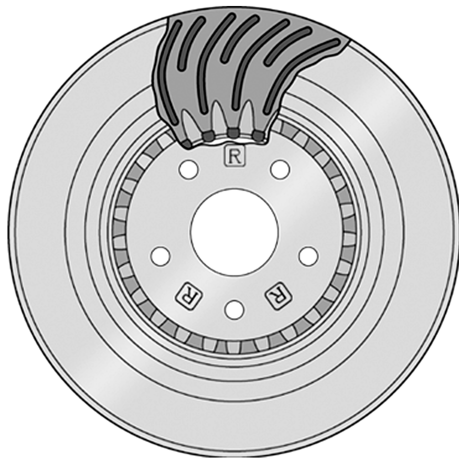


图2-35 有左右侧的标记的制动盘

安装制动钳和制动块前，清洁制动钳支座和滑动表面，用适当的润滑剂润滑滑动表面或导向销。为安装制动块，有必要将活塞推到底。为此，最好先松开制动钳排气螺钉，用适当工具将活塞推入。推动制动钳活塞时，排气螺钉不要关闭，否则制动液连同所有脏污物会被推入制动管路并最终进入主缸。安装制动块时，使用新的消声片、调整垫以及其他附件，确保制动块入座正确，减少出现啸声和噪声的机会。用规定力矩拧紧导向销或螺栓。检查主缸液面，仔细踩踏制动踏板直至出现坚实的踩踏感。按正确的排气程序对系统排气，最后路试车辆，确认制动系统工作正常。

制动器维修完成后，向储液罐加注正确、清洁的制动液。很多储液罐都有满和最低的高度指示。对于驾驶者来说可记住这一位置。当摩擦片磨损时，就减少了制动储液罐里的制动液量。因此，可以通过检查储液罐的液面情况，来推算制动器摩擦片的磨损情况。由于盘式车轮制动器的活塞直径大，制动器摩擦片的磨损导致储液罐里的油液面下降要比鼓式制动器的情况明显。

路试前，先实施行车制动和驻车制动，检查制动功能是否正确。最后，路试车辆以确认制动性能正确。

9. ABS 车轮转速传感器

ABS 车轮转速传感器主要有电磁式与霍尔式。

检查电磁式 ABS 车轮转速传感器时，一般先测量传感器本身电阻，一般应为数百欧姆至两千欧姆左右，具体数据参见维修手册的规定。在车轮转动时用万用表检测信号电压，应有 0.1～3V 左右的交流电压输出。检测车轮转速传感器的最准确的方法莫过于使用示波器。示波器可以检测信号的质量，并找出传感器信号的间断性瑕疵。人们对电磁式 ABS 车轮转速传感器已经相当熟悉了，这里不再赘述。



图 2-36　奥迪 A8 轿车的主动式 ABS 车轮转速传感器 G44-G47

现在，很多轿车已采用主动式 ABS 车轮转速传感器。奥迪 A8 轿车的主动式 ABS 车轮转速传感器如图 2-36 所示。

奥迪 A8 轿车的主动式 ABS 车轮转速传感器使用由三个霍尔元件组成的霍尔传感器作为测量元件。原先的脉冲轮由车轮轴承的磁化密封圈替代。在密封圈上排列着 48 对磁极，如图 2-37 所示。

三个霍尔元件分开排列。元件之间的距离是这样设定的，当元件 A 获得最大磁场强度时，C 获得最小磁场强度。在传感器内部形成一个差值信号 A-C，如图 2-38 所示。

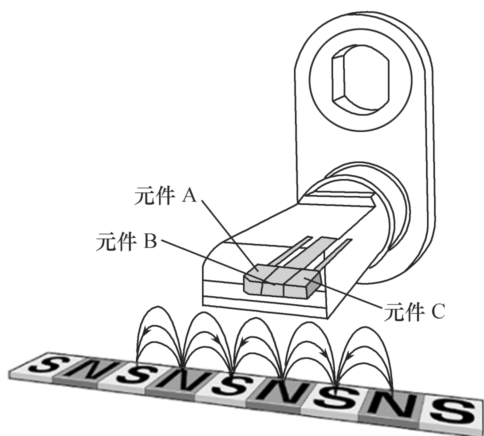


图 2-37　奥迪主动式车轮转速传感器的结构原理

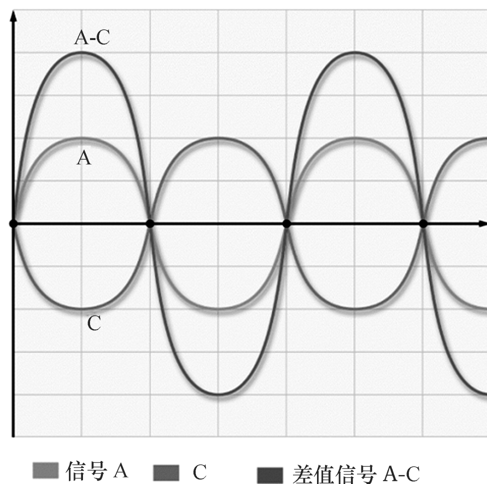


图 2-38　奥迪主动式车轮转速传感器内部霍尔元件的输出

霍尔元件 B 位于 A 和 C 的中央。当信号 A、C 及其差值信号零流通时元件 B 识别出磁感应强度最大值。

当信号 B 为最大值时（正值或负值），扭转方向被识别。

例如，当差值信号 A-C 由于信号脉冲降低到达零流通时，信号 B 的最大值为负值，向左的扭转被识别。

转速传感器通过电流接口与 ESP 控制单元相连接。ESP 控制单元中装有一个低欧姆测量电阻 R。转速传感器有两根电气接头。它与测量电阻构成了分压器。

在接头 1 和 2 之间存在电池电压 U_B，传感器信号在测量电阻上产生了压降 U_S，此压降由控制单元处理，如图 2-39 所示。

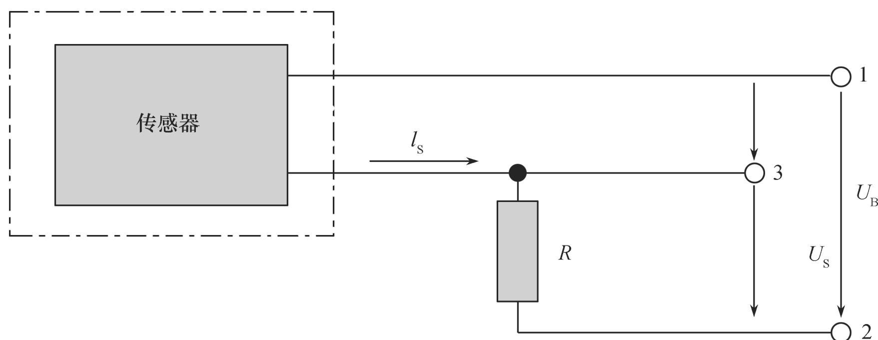


图 2-39 奥迪主动式车轮转速传感器的输出

转速传感器的输出信号是 PWM 信号（PWM＝脉冲宽度调制），如图 2-40 所示。一定时间内的脉冲数量包含了转速信息并通过脉冲的宽度能锁止以下信息：扭转方向、气缝（磁隙）尺寸、安装位置、静止状态识别。

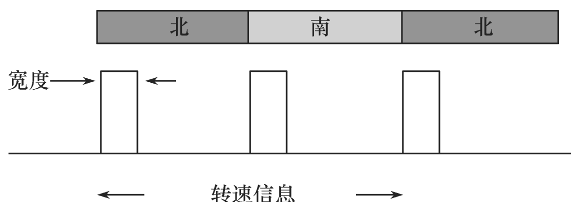


图 2-40 奥迪主动式车轮速转传感器的输出信号波形

正确的气缝尺寸对于系统功能来说十分重要，并被应用于系统自身故障诊断。

新的宝马 735i/745i 车上采用的主动式车轮转速传感器与奥迪 A8 轿车的主动式 ABS 车轮转速传感器类似，如图 2-41 所示。

在传感器内有三个并排安装在一个壳体内的霍尔元件。第一和第三霍尔元件的信号形成一个信号差，用于确定信号频率和脉冲信号齿的空气间隙。通过中间元件信号与该信号差在时间上的错位即可识别向左运行或向右运行。经电子装置放大后输出脉冲信号。空气间隙和旋转方向的附加信号通过数字信号的脉冲宽度输出。在数据导线中电压大小不起决定作用，电流才是起决定作用的因素，此时将产生一个使用两个不同电流的重复数据信号。

（二）电子制动力分配（EBD）系统

（1）EBD 的功能　电子制动力分配（EBD）系统是防抱死制动系统软件的一部分，它被编程设置在电子控制单元（ECU）中。该系统集成并取代了用于压力感测和负荷感测的传统前后制动比例阀的功能。

带 EDB 系统的 ABS 可以控制前、后和左、右车轮的制动力，使其在制动时更合适。

当有负荷加在后侧时，由于制动时负荷保持在后侧，所以要通过控制后部制动使制动力增加。

由于转弯时弯道内侧的负荷会减小，所以要减小内侧车轮的制动力。

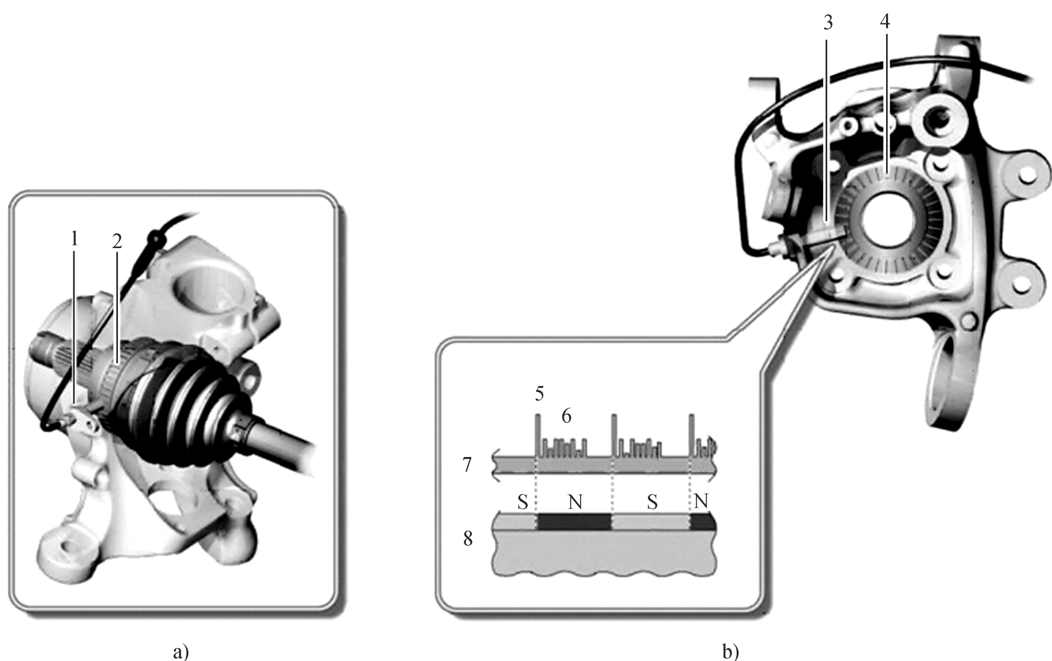


图 2-41　宝马的主动式车轮转速传感器

a）前桥　b）后桥

1—车轮转速传感器　2—信号齿圈　3—车轮转速传感器　4—车轮轴承与磁环　5—转速脉冲　6—辅助信息，如旋转方向与空气间隙　7—信号曲线　8—车轮轴承与磁铁

电子制动力分配控制利用防滑控制制动系统，根据行驶条件，帮助达到前后轮之间的良好制动力分配，如图 2-42 所示。

另外，在转向的过程中，还控制右轮和左轮的制动力，以帮助保持车辆稳定性。

（2）EBD 的工作原理

1）前/后轮制动力的分配。如果在车辆向前直行时实施制动，将减少施加到后轮上的载荷。

防滑电子控制模块根据来自速度传感器的信号决定这种情况，并控制防滑制动系统执行器，以便最佳地控制对后轮制动力进行分配。

例如，在制动过程中，施加到后轮上的载荷是随车辆的载荷情况而变化的。施加到后轮上的制动力也按减速的程度而变化。这样，对后轮的制动力分配得到最佳控制，以便在这些情况下有效地利用后轮的制动力。

2）右/左轮制动力分配（在转向过程中）。在车辆转向时实施制动，施加到内侧轮上的制动力要减小。防滑电子控制模块根据来自速度传感器的信号决定这种情况，并控制防滑控制系统执行器，以便最佳地控制对内侧车轮的制动力分配。

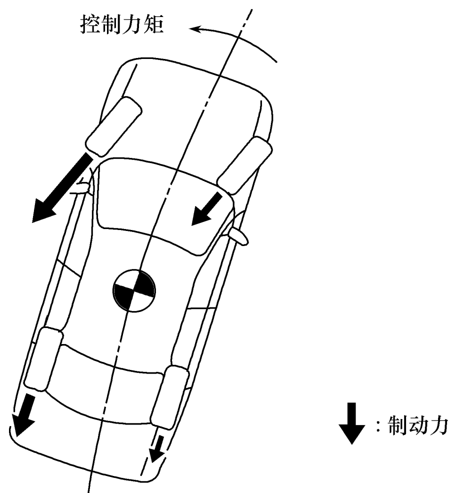


图 2-42　转向制动过程中的 EBD 控制

具体工作情况参见后述的“别克荣御轿车的 ABS-TCS/ESP 系统”。

（三）制动辅助系统（BAS）

不习惯于驾车或是习惯于驾车但容易慌张的人在紧急制动过程中，不能充分地踩下制动踏板，从而难以实现制动系统的最佳性能。

制动辅助系统利用制动防抱死执行器内的压力传感器来探测制动踏板被踩下的速度和力，让计算机推算驾驶员紧急制动意愿，以便增加制动力帮助获得来自制动系统中的最大性能。

防滑控制 ECU 的控制信号使辅助切换电磁阀关闭（或打开）、使保持电磁阀打开（或关闭）并使减压电磁阀关闭。使得从泵施加到轮缸中的液压增加。

轮缸液压由释放阀控制以防超过总泵液压的恒定值。

以前车型采用制动踏板行程传感器来检测制动踏板下压量与下压速度。现在车型中用压力传感器检测液压，传感器被安装在总泵中。

（1）奔驰制动辅助系统（BAS）

1）BAS 元件组成。BAS 元件组成如图 2-43、图 2-44 所示。

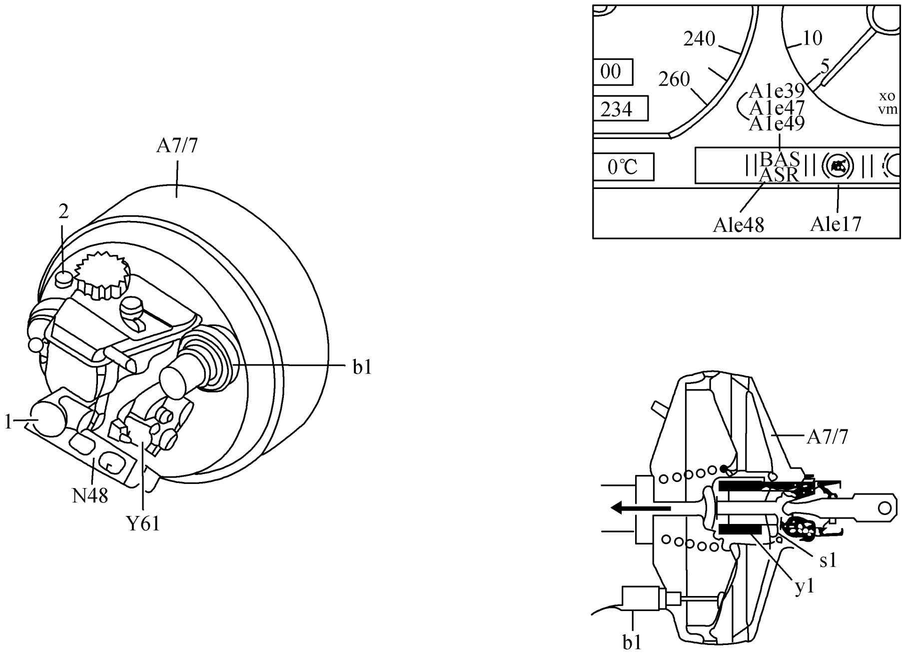


图 2-43 奔驰制动辅助系统 BAS 元件组成

1—制动总汞 2—真空接头 A1e17—ABS 灯 A1e39—BAS 灯 A1e47—BAS/EPS 灯 A1e48—BAS/ASR 灯 A1e49—BAS/ETS 灯 A7/7—真空助力器 b1—BAS 制动行程开关（传感器） s1—BAS 释放开关 y1—BAS 电磁阀 N48—BAS 电脑 Y61—总泵开关阀（129、067、076、140、04/05/06/07）

注：所有 112 与 113ESP 与 BAS 共用电脑 N47/5，210 底盘用 606 发动机 ESP 与 BAS 共用电脑，W163、W168 与 W220，BAS 与 ESP 共用电脑 N47/5。

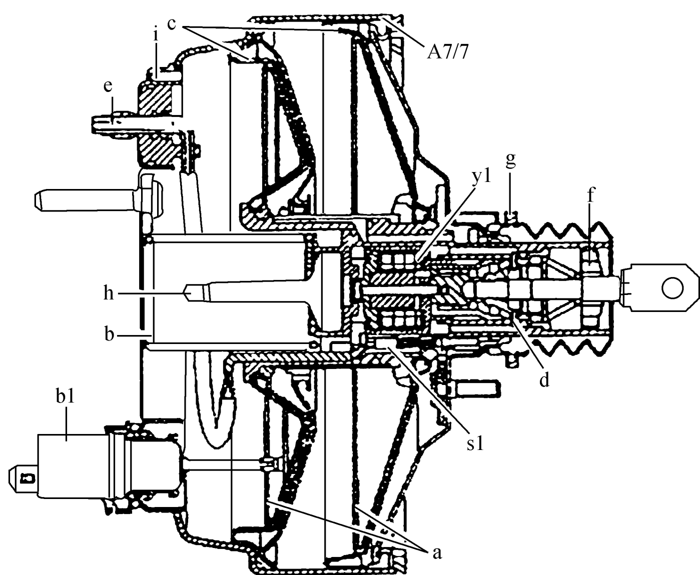


图 2-44　奔驰制动辅助系统的真空助力器总成

A7/7—带 BAS 的真空助力器总成　b1—BAS 膜片行程开关　s1—BAS 释放开关　y1—BAS 电磁阀　a—真空活塞　b—回位弹簧　c—助力器膜片　d—控制阀　e—释放开关与电磁阀的线路连接　f—空气滤清器 2　g—空气滤清器 1　h—总泵推杆　i—真空接头

2）BAS 的功能与工作情况。当紧急制动时，BAS 电脑由 BAS 行程开关侦测到制动踏板运动信号，BAS 电脑根据车速信号命令 BAS 电磁阀工作，使真空助力器达到最大助力状态，增加制动行程。

制动结束时，电脑将释放开关信号通知 BAS 电脑，将 BAS 电磁阀断开，BAS 总泵回位。

常规制动（BAS 不起作用）时，真空助力器与传统的真空助力器一样，空气阀打开通道较小，大气通过较小的通道进入膜片后腔，导致前腔与后腔产生一个压力差，如图 2-45 所示。此时的助力作用较小。

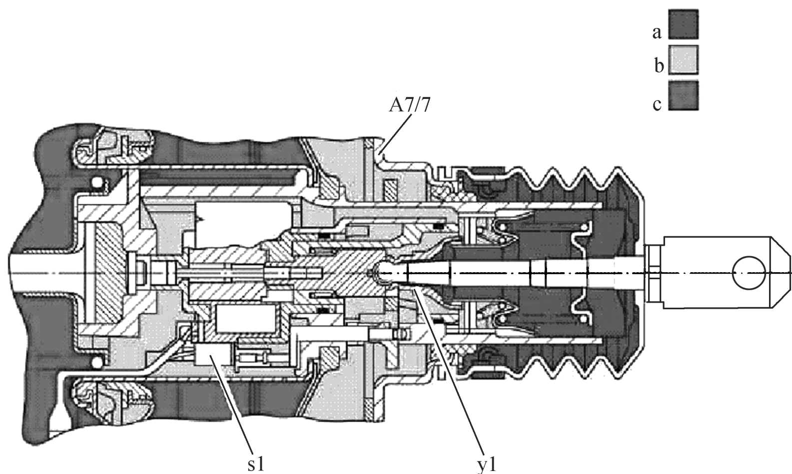


图 2-45　常规制动示意图

a—大气压　b—助力压力　c—真空　A7/7—真空助力器　s1—BAS 释放开关　y1—BAS 电磁阀

当完全踩下制动踏板或迅速踩下制动踏板时，BAS 制动行程开关（传感器）检测到踏板的踏下速度达到 BAS 启动允许的速度时，BAS 制动助力功能被激活，BAS 电磁阀 y1 开启，大气压迅速作用到膜片后腔，在膜片的前腔与后腔之间形成较大的压力差，以便产生最大的辅助制动力，如图 2-46 所示。但只有当如下条件全部满足时，BAS 制动助力功能才能被激活：车速大于 8km/h；BAS 释放开关动作；系统没有识别到故障；踩下制动踏板的速度达到 BAS 启动允许的速度；系统自检已完成。

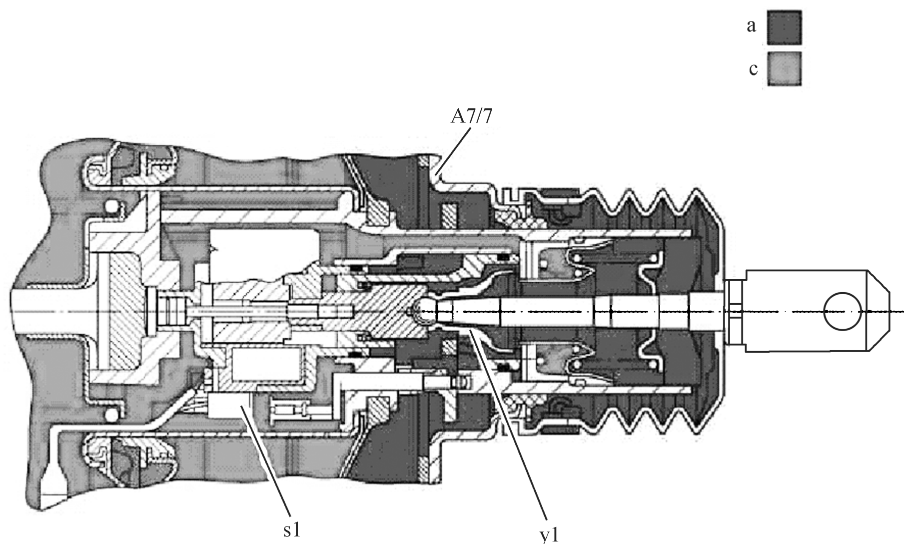


图 2-46　BAS 制动压力增大模式示意图

a—大气压　c—真空　A7/7—真空助力器　s1—BAS 释放开关　y1—BAS 电磁阀

当 BAS 释放开关不动作时，则 BAS 电磁阀 y1 关闭，制动助力为传统的真空助力制动。当有如下情形发生时，BAS 会自动关闭：BAS 释放开关没有动作；车速小于 3km/h；在缺少制动灯开关信号时，踩下制动踏板。系统存储故障码；BAS 工作时间大于 20s。

3）BAS 线路图。BAS 线路图如图 2-47 所示。

（2）标致 307 的紧急制动辅助装置（EVA）　标致 307 的紧急制动辅助装置使得在发生紧急情况时，通过减小制动伺服推杆的反应力，将模式由正常助力转为紧急助力。

系统由主缸和制动伺服器组成。

这种主缸的内部集成了紧急制动控制初始活塞 A，如图 2-48 所示。

标致 307 的紧急制动辅助装置采用 BOSCH 的 EVA 紧急制动系统（紧急辅助阀门），如图 2-49 所示。

BOSCH 的 EVA 系统是一个有 2 种状态的液压传动装置：①缓慢制动时放大比例为 6；②紧急制动时放大比例为 23。

对踏板的施力速度是一个紧急制动放大比例的参数。当制动踏板速度高于 580.8mm/s 这一门槛时，紧急制动状态被激活。

因此，踏板被快速踩下时（高于门槛值时），驾驶员微弱的踩踏力就会被扩大 23 倍。

EVA 系统是由一个特殊的主缸和一个带有新一代阀门的制动放大器构成的。EVA 系统

的性能曲线如图 2-50 所示。

对于驾驶员所施的同样的力 F1，主缸的压力大小要根据制动踏板位移的速度而定。由图 2-50 可知，制动力 P2＞P1。

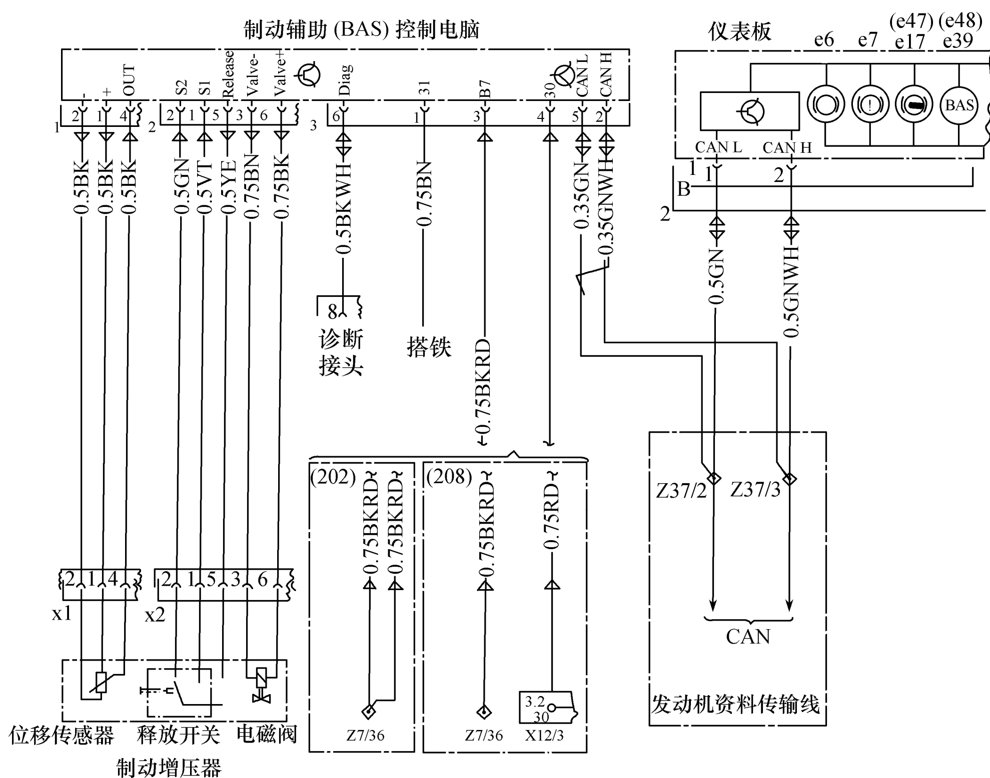


图 2-47　奔驰制动辅助系统 BAS 线路图

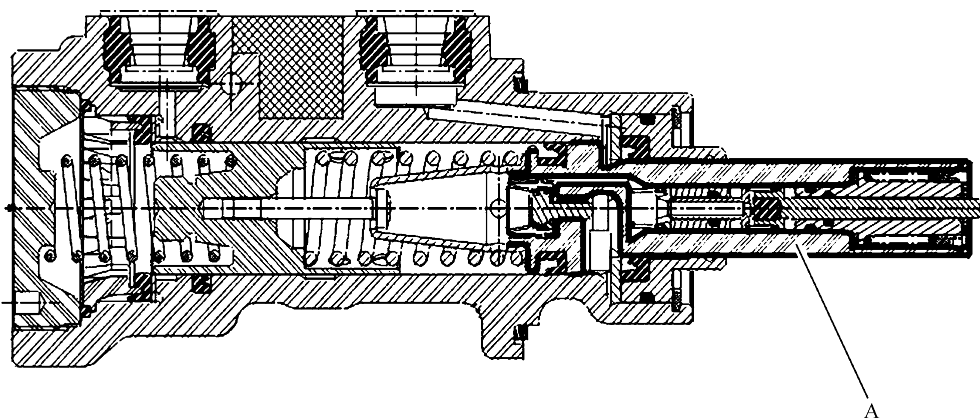


图 2-48　标致 307 带紧急制动控制初始活塞的制动主缸

BOSCH 的 EVA 系统主缸与真空助力器及主缸的初始活塞结构如图 2-51 所示。

其工作原理如下：

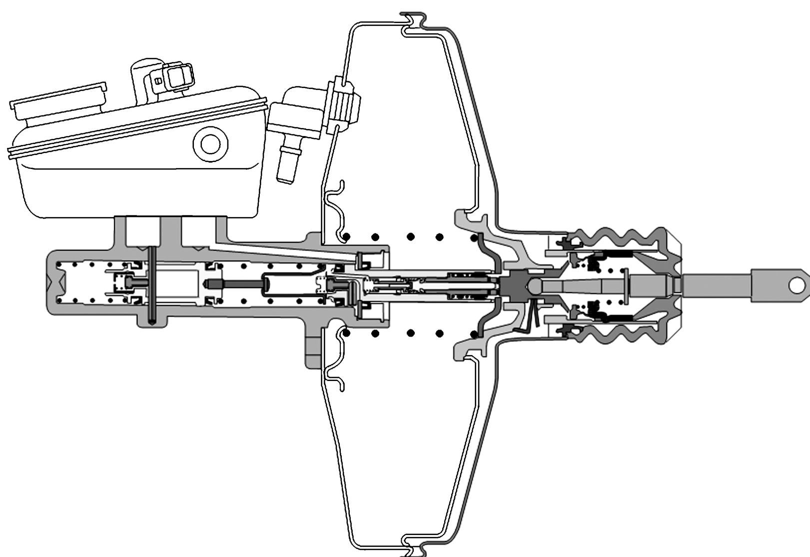


图 2-49 标致 307 紧急制动辅助装置

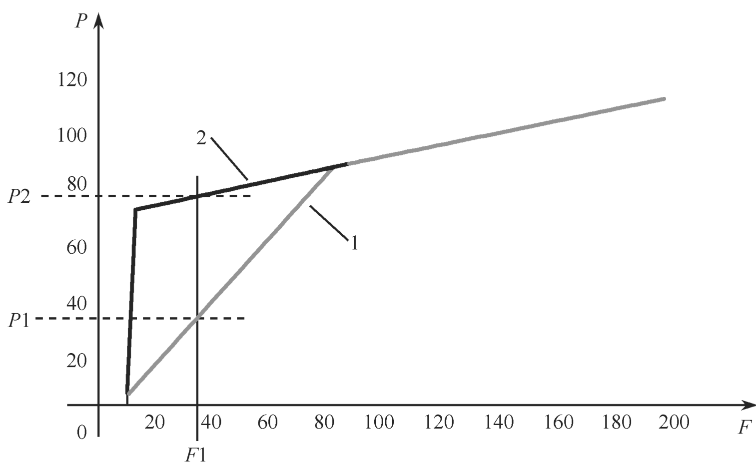


图 2-50 EVA 系统的性能曲线

F—作用于传动杆上力的角位移 P—主缸输出的压力（bar） 1—慢速制动性能曲线 2—紧急制动性能曲线 P1—进行缓慢制动所获得的压力 P2—进行快速制动所获得的压力

1）停止位置。如图 2-52 所示。反应活塞 25 被跳变弹簧 26 保持在限位状态。

比例变动杆 27 并不接触快速活塞 29：改变比例的 A 阀门是开放的（轻微活动）。

注释：助力器功能在传统系统中对于所有功能阶段都是一样的。

T 表示制动压力跳变时比例变动杆 27 相对反应活塞 25 的位移。

2）缓慢制动时。如图 2-53 所示，驾驶员缓慢踩下制动踏板，真空助力器阀门 12 轻微开放。延伸分配器 5 的位移速度是微弱的，弹簧没有被压紧，改变比例的阀门 A 仍旧开放，主缸压力开始作用于反应活塞 25 的 S1 区域。

一旦达到跳变值 T，反应活塞 25 开始与延伸分配器接触 5。

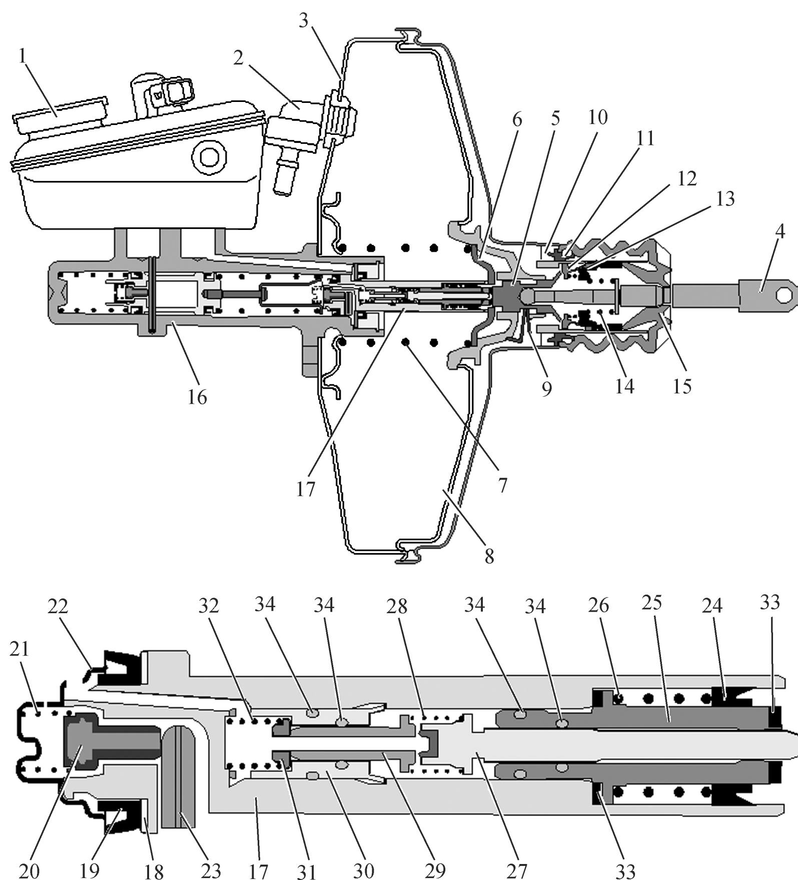


图 2-51　主缸与真空助力器的结构

1—制动液体箱　2—抗返回阀门　3—盖子　4—传动杆　5—延伸分配器　6—活塞加固件　7—回动弹簧　8—传动体　9—摆动关键部分　10—密封圈　11—导向环　12—阀门　13—阀门弹簧　14—维持弹簧　15—过滤箱　16—EVA 主缸体　17—初始活塞　18—安全碟片　19—初始活塞皮碗　20—阀门整体　21—阀门弹簧　22—阀门弹簧座　23—阀门的销　24—别针环　25—反应活塞　26—跳变弹簧　27—比例变动杆　28—阀门弹簧　29—快速活塞　30—套筒　31—滑块　32—维持弹簧　33—减振器　34—密封接头

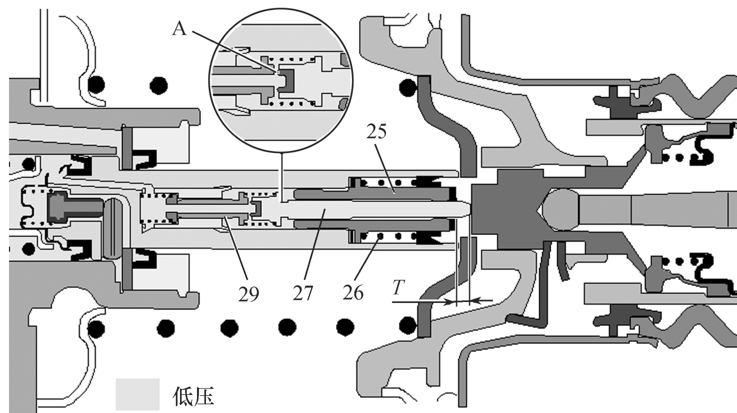


图 2-52　停止位置紧急制动控制初始活塞的状态

图注同图 2-51

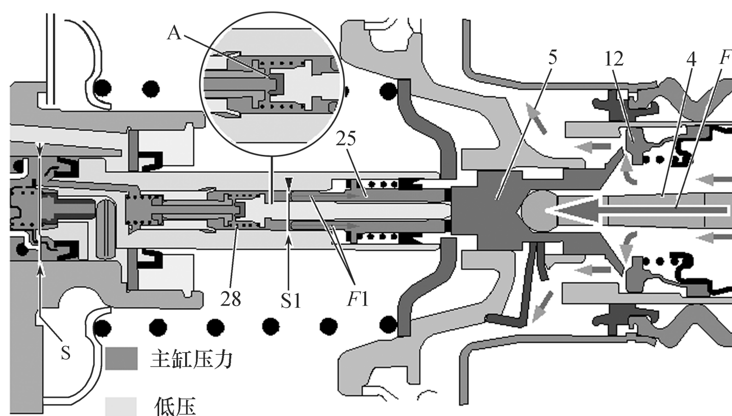


图 2-53 缓慢制动时紧急制动控制初始活塞的工作状态

图注同图 2-51

作用于延伸分配器的反作用力 $F1$ 的大小与 S/S1 区域比例的大小有关。

整个主缸初始活塞发生位移，并产生一个传统辅助比例的制动效果。驾驶员的踩踏力被放大 6 倍。

缓慢制动时，踏板推杆作用力与主缸输出压力的关系如图 2-54 所示。

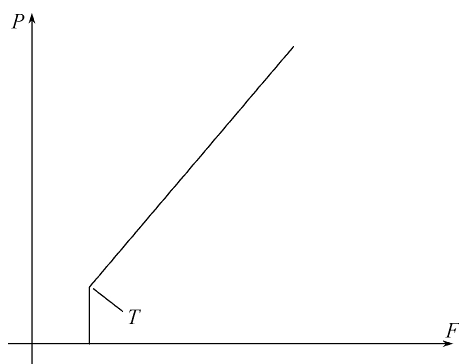


图 2-54 缓慢制动时、踏板推杆作用力与主缸输出压力的关系

P—主缸输出的压力 F—作用于传动杆（踏板推杆）的力 T—跳变值

3）维持缓慢制动平衡时。如图 2-55 所示，驾驶员缓慢制动后并保持制动踏板位置不变时，作用于传动杆（踏板推杆）的力是稳定的，真空助力器阀门 12 关闭。助力器的功能对于传动系统是同样的。维持缓慢制动平衡时，踏板推杆作用力与主缸输出压力的关系如图 2-56 所示。

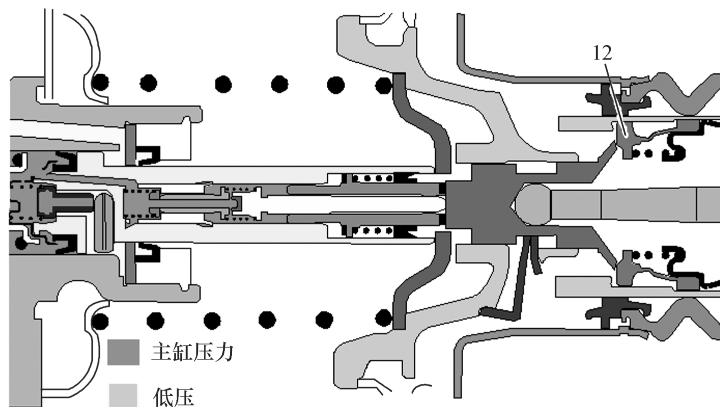


图 2-55 维持缓慢制动平衡时紧急制动控制初始活塞的工作状态

图注同图 2-51

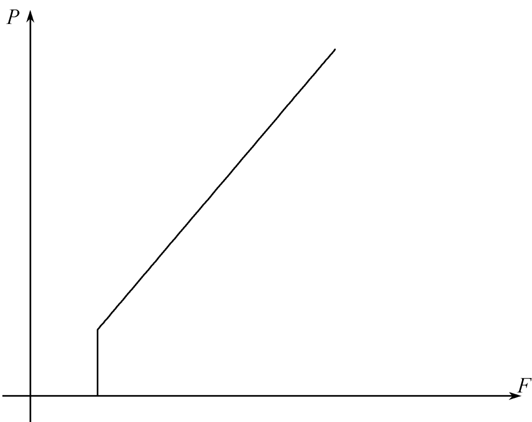


图 2-56　维持缓慢制动平衡时踏板推杆作用力与主缸输出压力的关系

P—主缸输出的压力　F—作用于传动杆（踏板推杆）的力

4）助力器助力饱和后的缓慢制动。如图 2-57 所示，驾驶员继续对制动踏板施力并超过了助力器饱和的力。延伸分配器移动反应活塞和比例改变杆。改变比例的 A 阀门关闭。助力器助力饱和后缓慢制动时踏板推杆作用力与主缸输出压力的关系如图 2-58 所示。

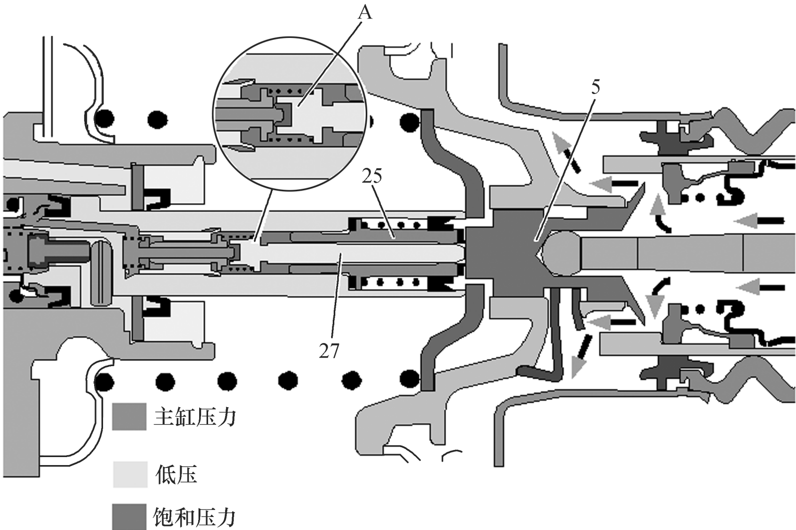


图 2-57　缓慢制动至助力器助力饱和后紧急制动控制初始活塞的工作状态

图注同图 2-51

5）助力器助力饱和前的快速制动。如图 2-59 所示，驾驶员快速踩下制动踏板并超过了比例改变的界限（580.8mm/s），传动杆（踏板推杆）快速位移。

延伸分配器 5 快速移动比例变动杆 27，压紧弹簧 28 并与快速活塞 29 接触。比例改变阀门 A 关闭。主缸压力只施加于比例传动杆 27 的一小部分区域 S2。

在这一位置，延伸反应器上的反作用力 *F*2 大小由 S/S2 区域的比例来确定。

S2 区域比 S1 区域小时，制动踏板上的反作用力要小些。当踏板的反作用力被减小时（由于紧急情况的比例），驾驶员在紧急制动阶段能够施以更少的力来获得所希望的减速。

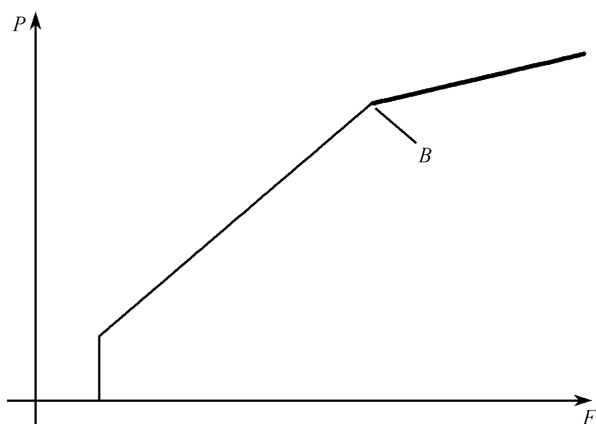


图 2-58 助力器助力饱和后缓慢制动时踏板推杆作用力与主缸输出压力的关系

P—主缸输出的压力 F—作用于传动杆（踏板推杆）的力 B—缓慢制动至助力器助力饱和后的压力变化转折点

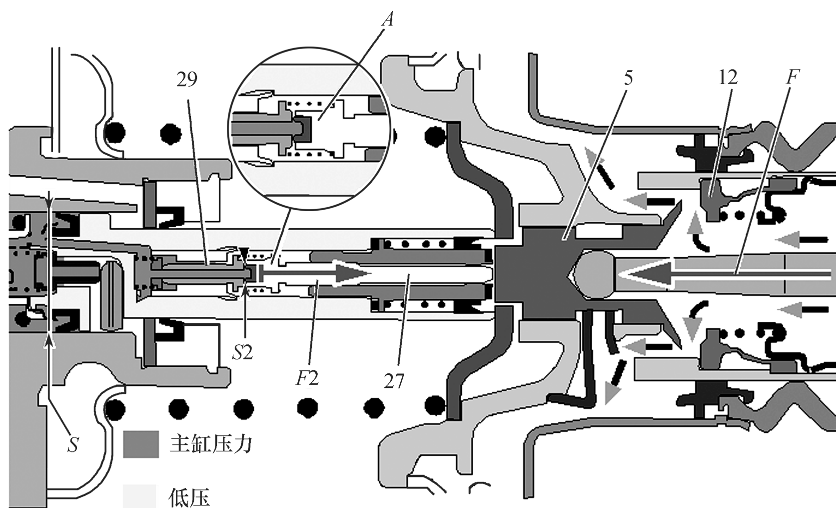


图 2-59 快速制动时紧急制动控制初始活塞的工作状态

图注同图 2-51

放大比例为 23，相当于慢速制动时花同样的力获得效果的 4 倍。快速制动时踏板推杆作用力与主缸输出压力的关系如图 2-60 所示。

6）快速制动后维持制动时。如图 2-61、图 2-62 所示，当驾驶员所希望的减速实现后维持时，阀门 12 是关闭的。助力器的功能在传统系统中是一致的。

比例变动杆 27 与快速活塞 29 保持接触。比例改变阀门 A 保持关闭。

当传动杆上的力增加时，主缸的压力始终作用于 S2 区域，放大比例始终为 23。

7）快速制动至助力器助力饱和后的工作情况。如图 2-63、图 2-64 所示，驾驶员继续对制动踏板施力，并使辅助力达到最大。

8）放松制动（接饱和前慢速制动）。如图 2-65 所示，弹簧将系统的不同部分带回停止位置。跳变弹簧 26 拉回反应活塞 25。主缸压力降低。

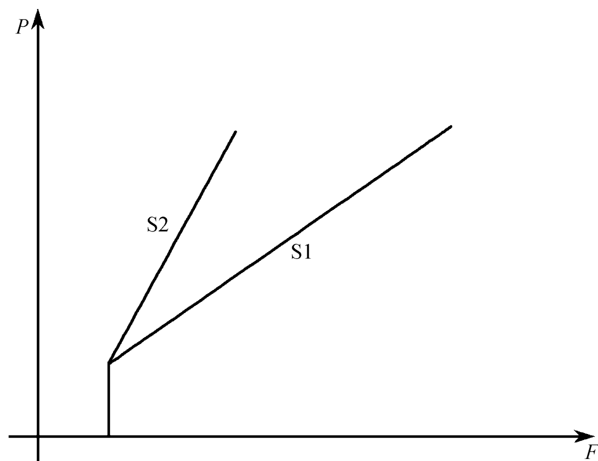


图 2-60　快速制动时踏板推杆作用力与主缸输出压力的关系

P—主缸输出的压力　F—作用于传动杆（踏板推杆）的力　S1—缓慢制动时主缸压力变化曲线

S2—快速制动时主缸压力变化曲线

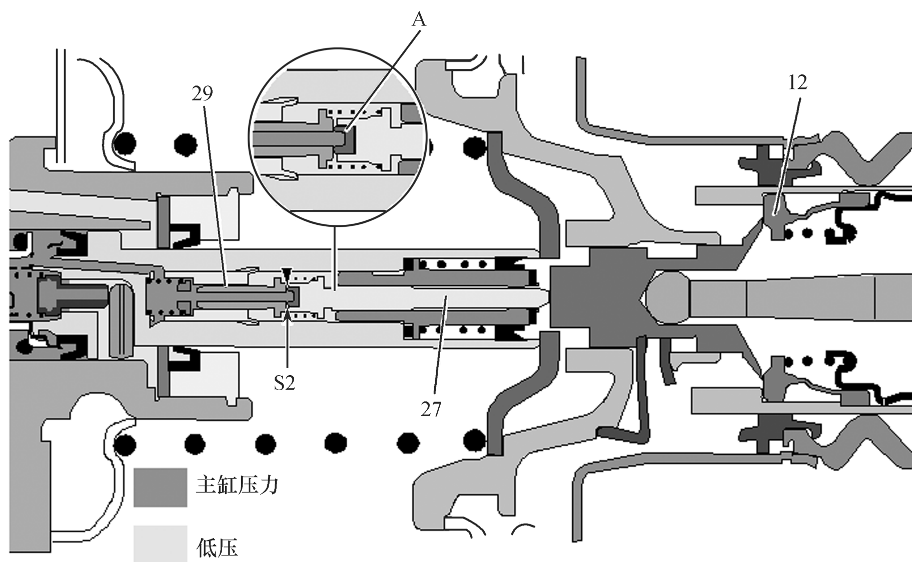


图 2-61　快速制动后维持制动时紧急制动控制初始活塞的工作状态

图注同图 2-51

9）放松制动（接饱和后缓慢制动或快速制动）。如图 2-66 所示，作用在快速活塞狭小区域 S3 上的压力使得其与比例变动杆 27 保持接触。

比例改变阀门 A 保持关闭。因此，每次对踏板的新增力都会被按照紧急制动比例 23 进行放大。饱和后缓慢制动或快速制动后放松制动时踏板推杆作用力与主缸输出压力的关系如图 2-67 所示。

另外，主缸活塞的结构如图 2-68、图 2-69 所示。

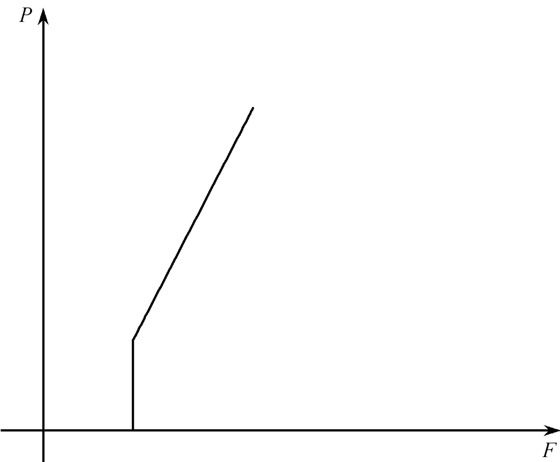


图 2-62 快速制动后维持制动时踏板推杆作用力与主缸输出压力的关系

P—主缸输出的压力 F—作用于传动杆（踏板推杆）的力

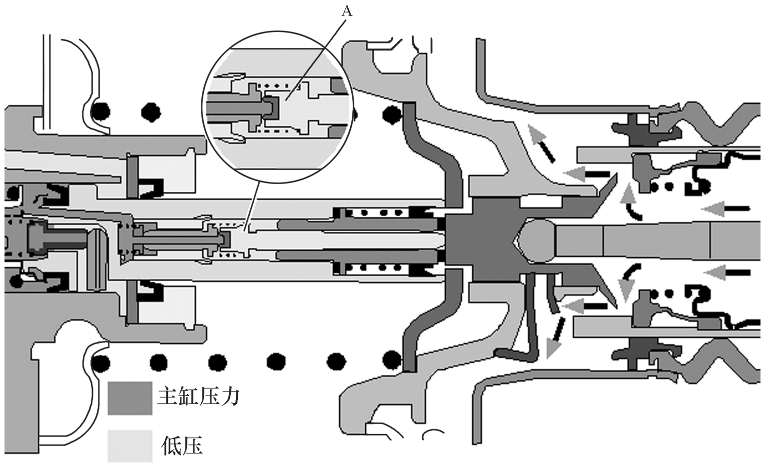


图 2-63 快速制动至助力器助力饱和后紧急制动控制初始活塞的工作状态

图注同图 2-51

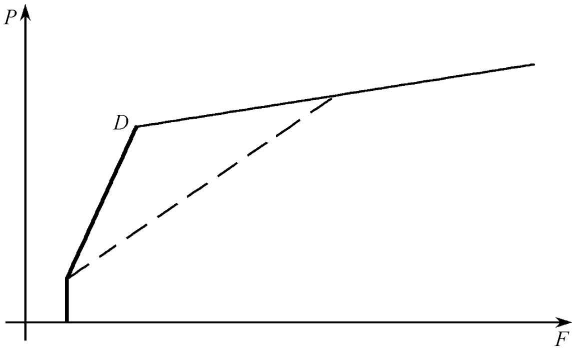


图 2-64 快速制动至助力器助力饱和后踏板推杆作用力与主缸输出压力的关系

P—主缸输出的压力 F—作用于传动杆（踏板推杆）的力

D—快速制动至助力器助力饱和后的压力变化转折点

注：图中虚线表示缓慢制动至助力器助力饱和时的踏板推杆作用力与主缸输出压力的关系

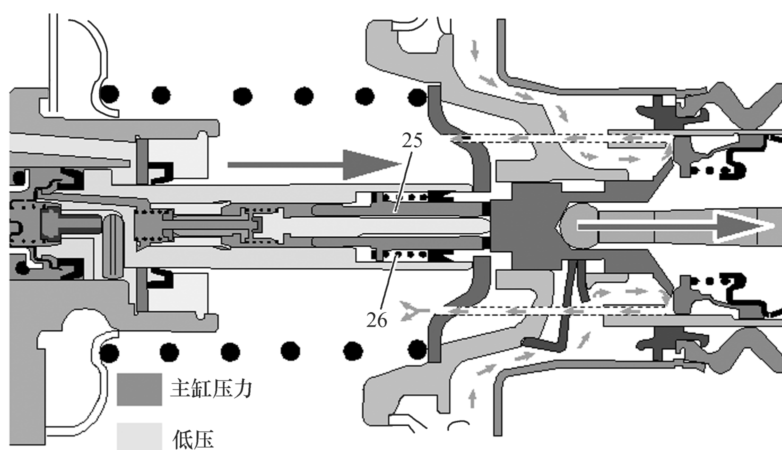


图 2-65　饱和前慢速制动后放松制动时的工作状态

图注同图 2-51

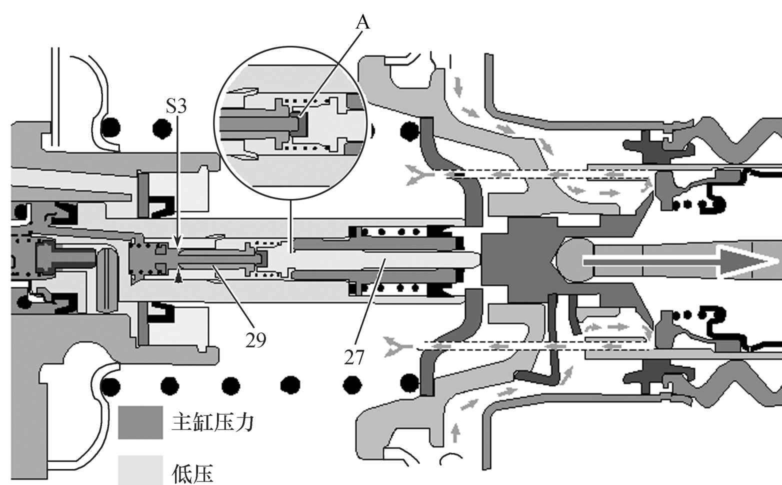


图 2-66　饱和后缓慢制动或快速制动后放松制动时的工作状态

图注同图 2-51

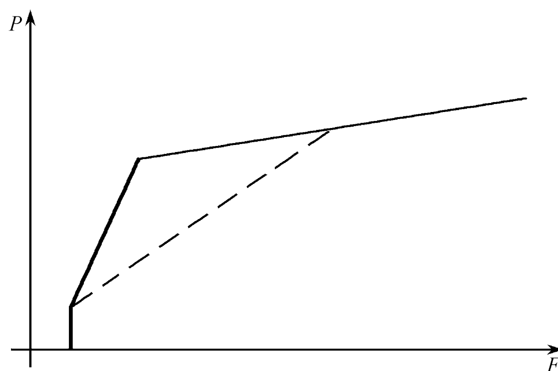


图 2-67　饱和后缓慢制动或快速制动后放松制动时踏板推杆作用力与主缸输出压力的关系

P—主缸输出的压力　F—作用于传动杆（踏板推杆）的力

图中虚线同图 2-64

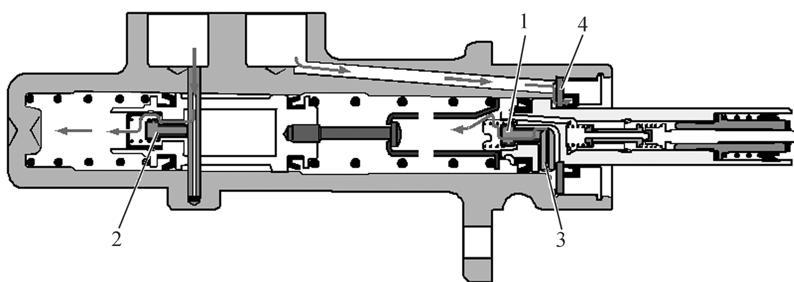


图 2-68　不制动时主缸的状态

1—次级活塞中心阀　2—初始活塞中心阀　3—阀门销　4—挡圈

同其他带 ABS 功能的主缸一样，EVA 主缸装备了中心阀门 1 和 2。

在停止位置时，紧贴垫圈的销 3 对阀门 1 施加力。阀门 1 和 2 开放，液体能够朝制动储液罐流动。

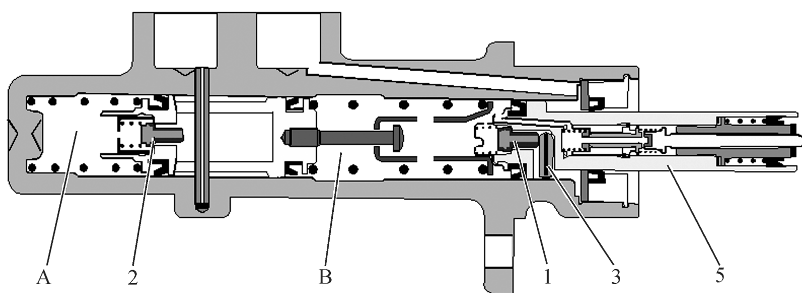


图 2-69　制动时主缸活塞的工作状态

1—次级活塞中心阀　2—初始活塞中心阀　3—阀门销　5—初始活塞

制动作用时，初始活塞带动阀门 1 移动。阀门 1 离开销 3 而处于关闭状态。此时，阀门 1 和 2 关闭。A 室和 B 室的压力增加。在 ABS 起动时，制动液不能重新回到储液罐中，因为阀门 1 和 2 已经关闭。

带 ESP 功能的主缸初始活塞 5 上还装备有一个带限制量孔 R 的阀帽 6，如图 2-70 所示。

该限制量孔是保证制动液通过阀门 1 和销 3 返回储液罐。

当 ESP 预充泵被激活时，它会将制动液送到主缸 B 室中。限制部分的细小通道区域使得液体不会立刻返回到制动储液罐中。对 B 室的压力可能因此增加。在这一力的作用下，活塞 7 移动，同样引起 A 室的压力上升。

（3）2008 款卡罗拉轿车的制动辅助机构　2008 款卡罗拉轿车的制动辅助机构有两种，一种为机械式，一种为电动液压式。

1）机械式制动辅助机构的结构与工作原理。2008 款卡罗拉轿车机械式制动辅助机构的结构与工作原理如下：

如图 2-71 所示，制动助力器中的制动辅助机构由滑阀、滑阀钩、空气阀、控制阀和操作杆组成。

工作原理：

① 不进行制动时。如图 2-72 所示，空气阀关闭，变压室的压力与恒压室的压力相同。

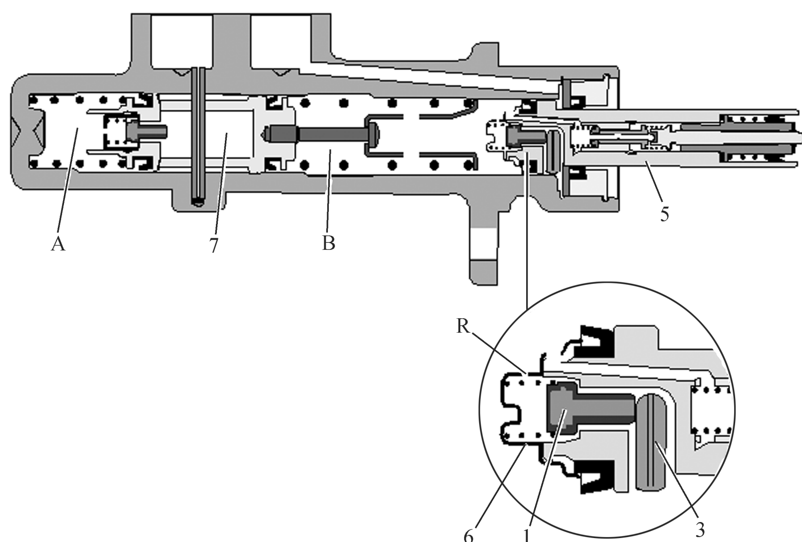


图 2-70　带 ESP 功能的主缸初始活塞

1—初始活塞中心阀　3—阀门销　5—初始活塞　6—带限制量孔的阀帽　7—次级活塞　R—限制量孔

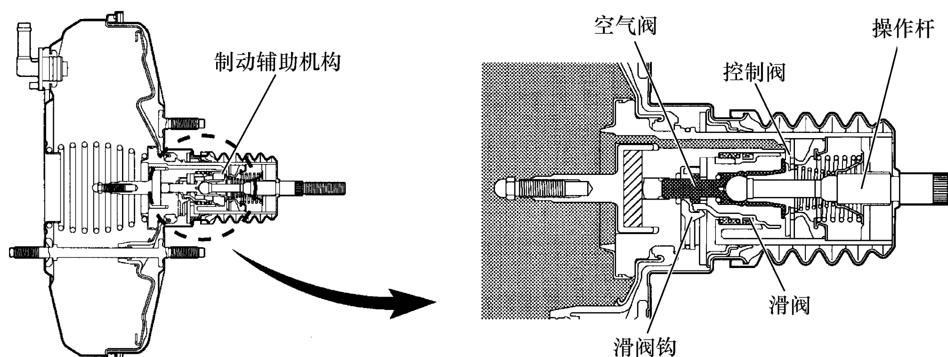


图 2-71　2008 款卡罗拉轿车机械式制动辅助机构的结构

② 正常制动时（操作杆速度＝动力活塞速度）。正常制动过程中，空气阀打开以激活制动助力器功能，如图 2-73 所示。

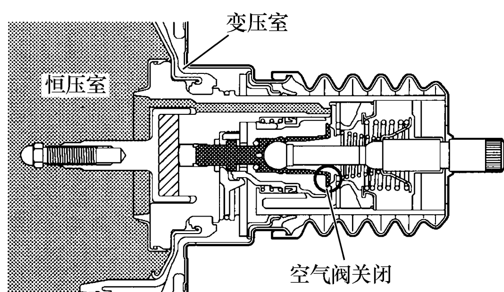


图 2-72　不制动时机械式制动辅助机构的状态

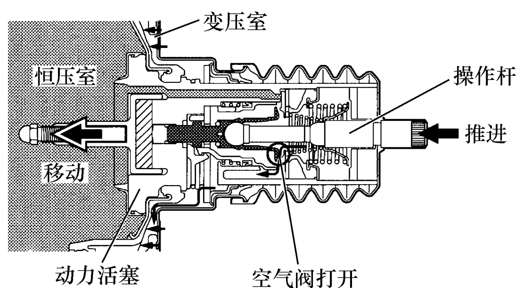


图 2-73　正常制动时机械式制动辅助机构的状态

③ 制动辅助条件（操作杆速度＞动力活塞速度）。当操作杆速度大于动力活塞速度时，空气阀推动滑阀钩，使得滑阀与滑阀钩分离，并且滑阀推动控制阀，以使空气阀打开的程度比正常制动条件下的更大。因此，进入的空气量增加，这使得制动辅助力更有力地推动动力活塞，如图 2-74 所示。

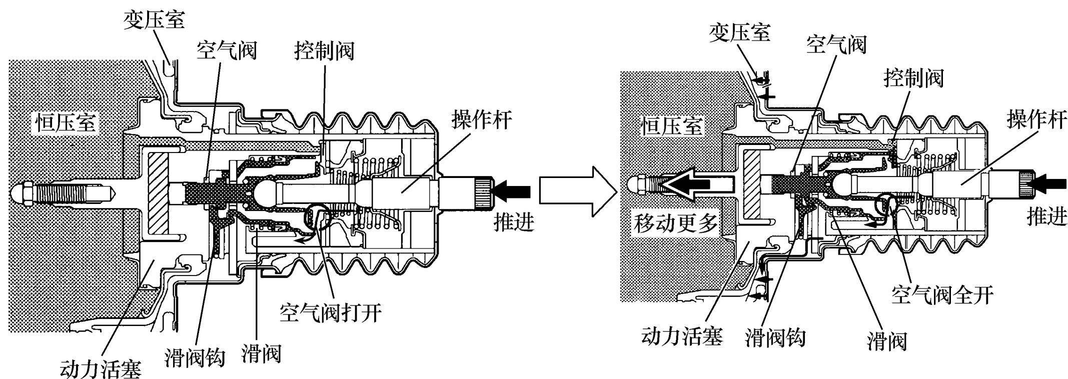


图 2-74　紧急制动（操作杆速度＞动力活塞速度）时机械式制动辅助机构的状态

2）电动液压式制动辅助机构的结构与工作原理。在电动液压式制动辅助系统中，防滑控制 ECU 根据来自主缸压力传感器的信号，计算应用制动踏板的速度和次数，然后判定驾驶员进行紧急制动的目的。如果防滑控制 ECU 判定驾驶员要进行紧急制动，则此功能会激活制动器执行器以增大制动液压，增大制动力，如图 2-75 所示。

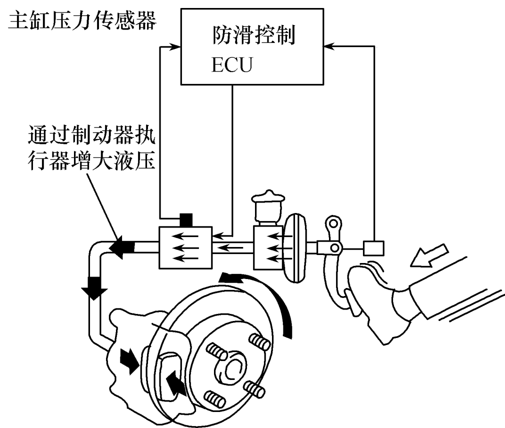


图 2-75　电动液压式制动辅助机构的组成示意图

如果发生紧急制动，防滑控制 ECU 根据由主缸压力传感器信号判定的主缸增压的速度来检测驾驶员的目的。如果防滑控制 ECU 判断需要额外的制动辅助，制动器执行器中的泵产生压力并将其直接传输至轮缸以施加大于主缸的液压。

制动器执行器由执行器部分和防滑控制 ECU 组成。

执行器部分由 10 个电磁阀、2 个泵、2 个储液罐、主缸压力传感器组成。

如图 2-76 所示，当制动辅助功能激活时，2 个主缸切断电磁阀 1、2 根据运行状态在开、关之间不断调节以控制油压，4 个压力保持电磁阀 3、4、5、6 和 4 个减压电磁阀 7、8、9、10 均保持断电状态，即压力保持电磁阀处于常开状态、减压电磁阀处于常关状态。制动器执行器中的泵电动机通电运转，泵产生压力并将其直接传输至轮缸，这时制动轮缸的压力迅速增大，之后能迅速进入 ABS 起作用的状态。

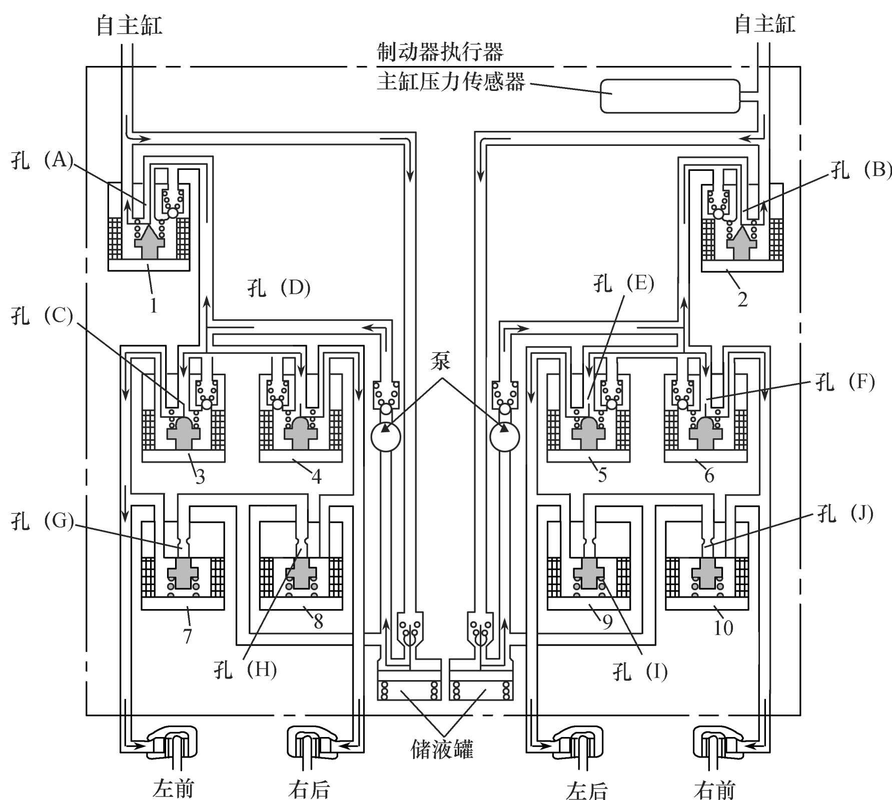


图 2-76　电动液压式制动辅助机构制动辅助工作原理

1、2—主缸切断电磁阀　3、4、5、6—压力保持电磁阀　7、8、9、10—减压电磁阀

（四）TRC、ESP 与 VDC 系统

（1）别克荣御轿车的 ABS-TCS/ESP 系统

1）别克荣御轿车的 ABS-TCS/ESP 系统的组成。别克荣御轿车的 ABS-TCS/ESP 系统主要部件位置分布如图 2-77 所示。

为了能独立控制各车轮的制动回路，本系统采用了前/后分离的 4 通道回路结构。每个车轮制动回路的液压都是隔离的，这样当某个制动回路出现泄漏时仍能继续制动。液压调节器的液压回路如图 2-78 所示。液压调节器总成包括以下部件：

两个回程泵 2：在 ABS-TCS/ESP 减压阶段，两个泵从储能器 3 和制动轮缸 4 抽取过量的制动液，然后通过液压调节器将制动液返回到制动总泵 5，以减小制动液压力 C。另外，回程泵还在自动制动差速器（ABD）制动干预阶段向制动轮缸施加制动液压力。

一个电动机 M：电动机驱动回程泵。

两个储能器 3：储能器在 ABS-TCS/ESP 减压阶段储存过量的制动液，从而使液压调节器能够即时减小制动液压力。

四个进口阀 6：当进口阀处于常态位置时，各进口阀使制动液压力施加到制动轮缸上。当阀动作时，各进口阀将制动轮缸与制动总泵隔离开来。

四个出口阀 7：在常态位置时，各出口阀将制动轮缸与储能器及回程泵隔离开来。当阀

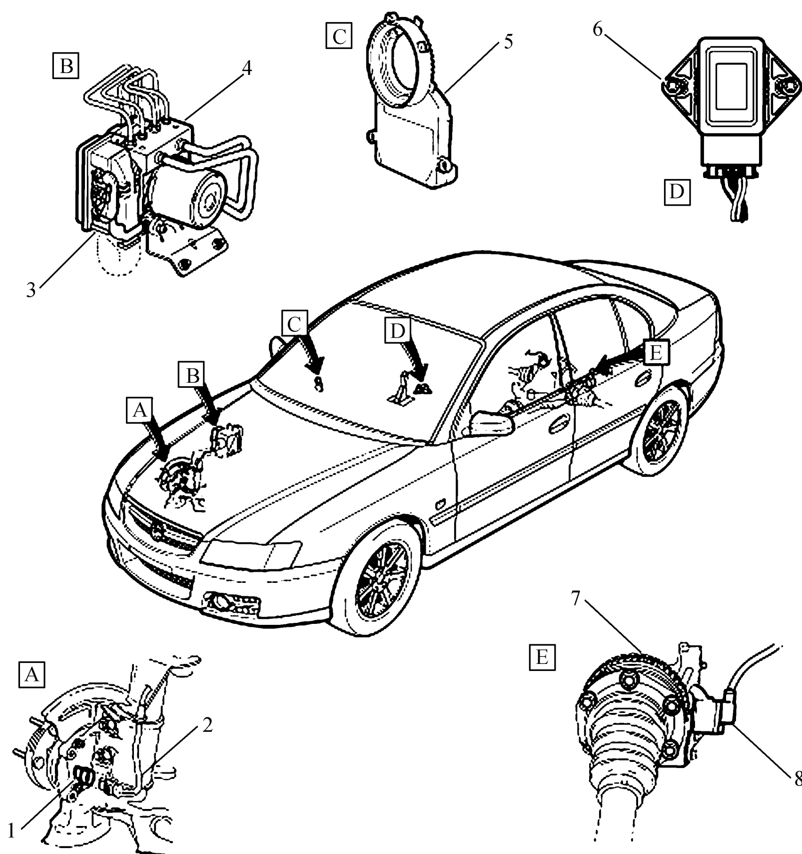


图 2-77 别克荣御轿车的 ABS-TCS/ESP 系统主要部件位置分布

1—前轮转速传感器 2—前轮转速传感器引线 3—电子控制单元（ECU） 4—液压调节器总成
5—转向盘转角传感器 6—横向偏摆率传感器 7—后轮转速传感器脉冲环 8—后轮转速传感器

动作时，各出口阀将过量的制动液直接引至储能器和回程泵，从而使压力减小。

两个隔离电磁阀 8：隔离电磁阀将后制动回路与制动总泵隔离开来，从而防止了制动液在牵引力控制系统工作期间回流至制动总泵。

两个起动电磁阀 9：用于在牵引力控制系统工作期间使制动液从制动总泵流至液压泵中。

2）别克荣御轿车的 ABS-TCS/ESP 系统的工作原理

① 常规制动（非 ABS 制动）。在常规制动时，液压调节器中的所有电磁阀都处于常态位置，这使得制动液畅通无阻地从制动总泵流至制动轮缸。液压调节器使制动液能从总泵流至制动轮缸或从制动轮缸流至总泵，从而实现了非 ABS 常规制动，如图 2-79 所示。

② 防抱死制动（ABS 制动）。假设左后车轮开始抱死。如图 2-80 所示，电子控制单元监测并比较每个车轮速度传感器的信号以确定车轮是否滑移。如果在制动过程中检测到车轮滑移，电子控制单元将切换到保压阶段，并向液压调节器 1 发送一个控制信号，以关闭左后进口阀 2。

当左后进口阀和出口阀 3 都关闭时，无论制动踏板 D 所施加的制动液压力 A 为多大，左后制动回路都将被隔离，从而使左后轮制动液压力保持恒定压力 B。

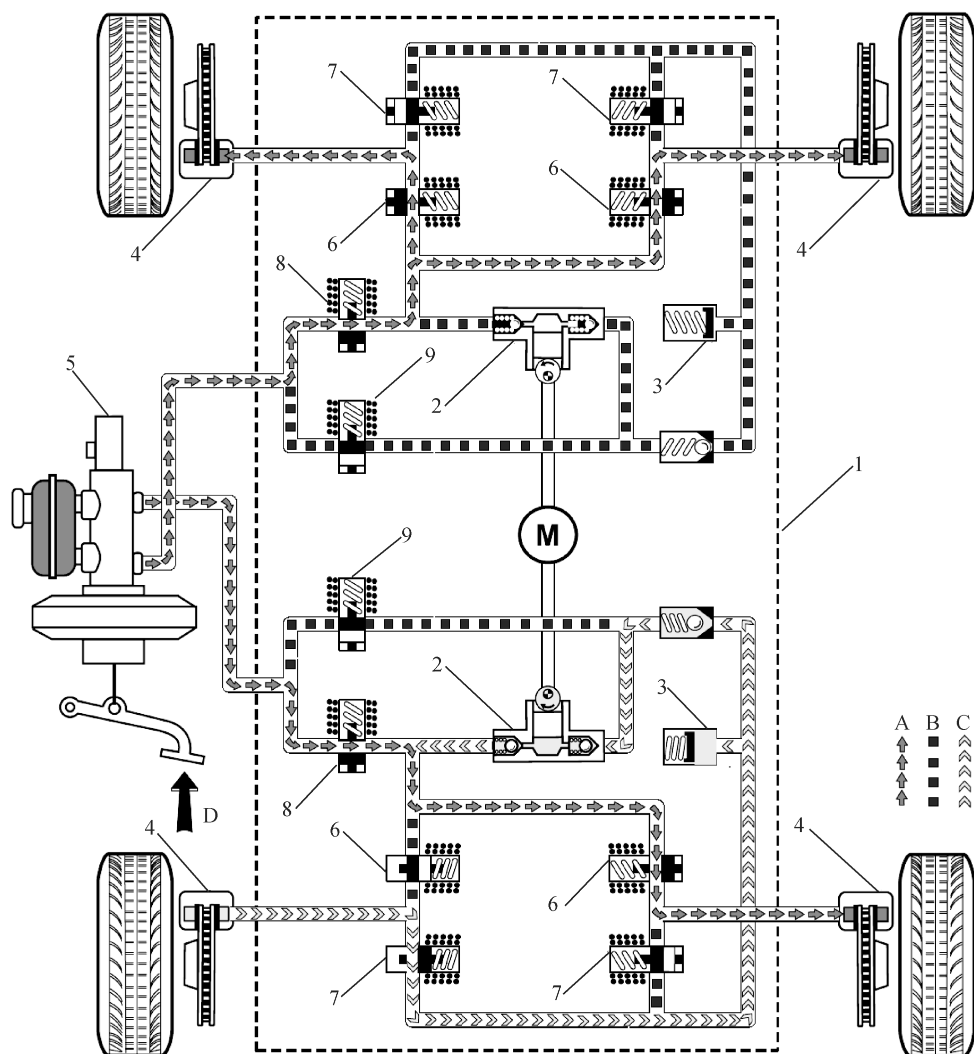


图 2-78 液压调节器的液压回路

1—液压调节器总成 2—回程泵 3—储能器 4—制动轮缸 5—制动总泵 6—进口阀 7—出口阀
8—隔离电磁阀 9—起动电磁阀 A—常规的制动液压力 B—停止的制动液压力流（电磁阀闭合）
C—泵产生的制动液压力流 D—制动踏板踩下 M—电动机

假设在防抱死制动系统处于保压阶段时左后车轮仍处于抱死状态。如图 2-81 所示，电子控制单元监测并比较每个车轮速度传感器的信号以确定车轮是否滑移。如果当防抱死制动系统处于保压阶段时仍然检测到左后车轮处于滑移状态，则电子控制单元将切换到 ABS 减压阶段。电子控制单元向液压调节器 1 发送控制信号以：

关闭左后进口阀 2 并打开左后出口阀 3。运行液压调节器泵 4。在 ABS 阶段，液压调节器泵将一直保持可工作状态。

在减压阶段，这将产生下列操作：

a. 当左后出口阀打开时，左后轮制动液先被导入储能器 5，以保证制动液压力立即下降。

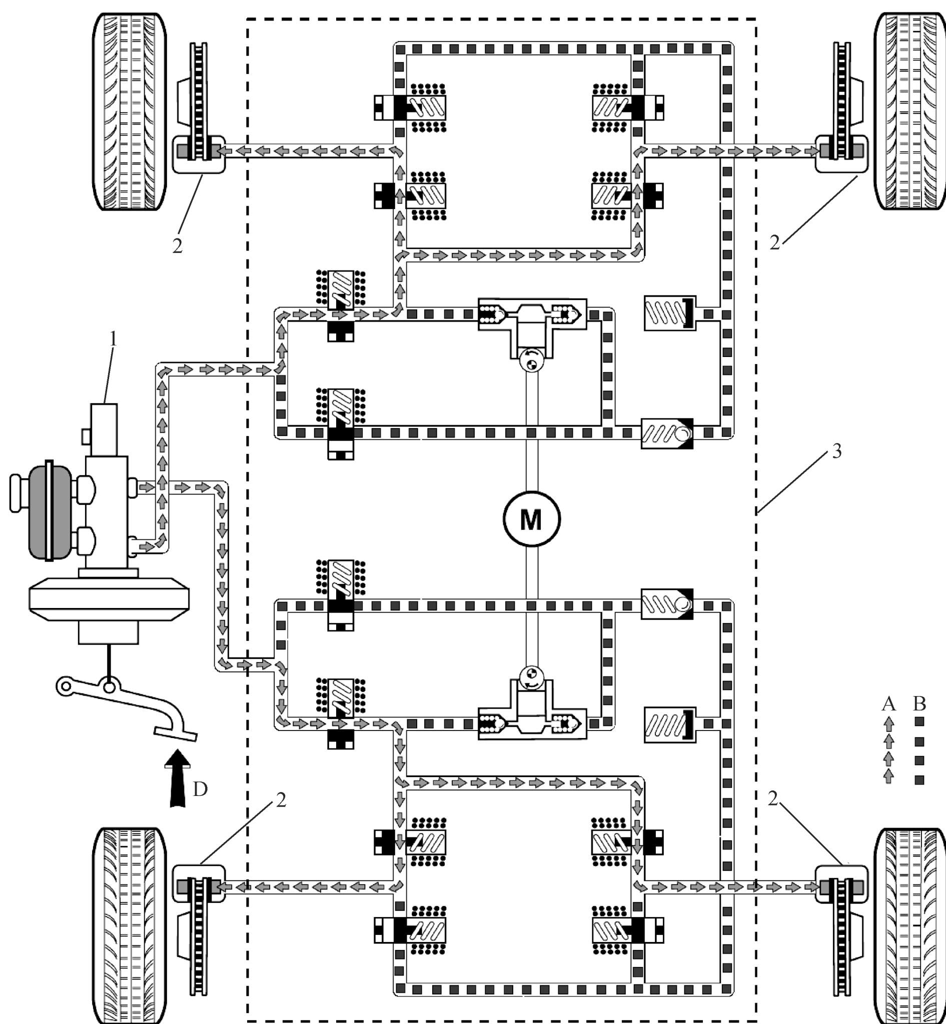


图 2-79　常规制动液压力回路

1—制动总泵　2—制动轮缸　3—液压调节器总成　A—常规的制动液压力　B—停止的制动液压力流（电磁阀闭合）　D—制动踏板踩下

b. 储能器储存过量的左后轮制动液。

c. 液压调节器泵积累左后轮制动液回流压力，从而使左后轮制动轮缸 6 释放出来的制动液能够返回到制动总泵 7，抵消制动踏板压力 D。在这个阶段中，由于制动踏板仍处于踩下状态，所以从制动轮缸释放出来的压力必须大于制动总泵施加的压力。

假设在 ABS 减压阶段施加的制动力减小，从而导致左后轮制动不足。如图 2-82 所示，电子控制单元监测并比较每个车轮转速传感器的信号以确定车轮是否滑移。如果电子控制单元检测到由于 ABS 减压阶段所施加的制动力减小而导致左后轮速度大于其他三个车轮的速度，则电子控制单元将切换到增压阶段。电子控制单元向液压调节器 1 发送控制信号以：

关闭左后出口阀 2 并打开左后进口阀 3。

在 ABS 阶段继续运行液压调节器泵 4。

总泵 5 的制动液 A 像常规制动操作那样被再次引入左后轮制动轮缸 6。先前减小的制动

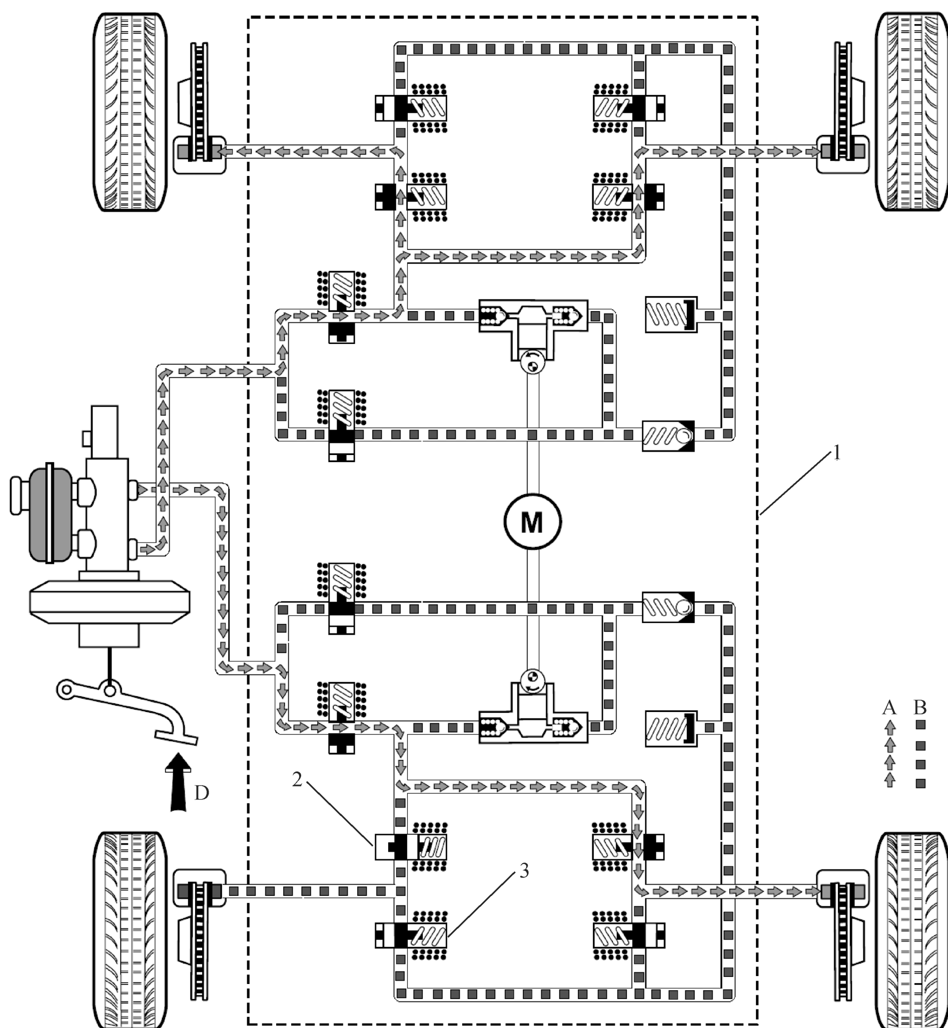


图 2-80　ABS 保压阶段液压回路

1—液压调节器　2—进口阀　3—出口阀　A—常规的制动液压力　B—停止的制动液压力流（电磁阀闭合）　D—制动踏板踩下

液压力现在增加了，从而减小了左后轮的速度。

这些 ABS 阶段不断重复，直到电子控制单元检测到车轮速度达到平衡或者制动踏板压力消除为止。根据路面情况，每秒钟大约有 4 到 6 个控制循环。

③ 电子制动力分配系统（EBD）。电子制动力分配系统是 ABS 软件的组成部分，它被编程设置在电子控制单元（ECU）中。该系统用于在适度制动时替代后制动力比例阀，以减小后轮的滑移。电子制动力分配系统利用已有的防抱死制动系统主动控制功能来调节车辆后轮的制动液压力。这使得电子制动力分配系统能对各种车辆载荷、驾驶操作或路面状况提供动态的前后轮制动力比例。

在某些情况下，如果电子制动力分配系统启用，则当驾驶员来回踩动制动踏板，改变制动踏板压力时，制动踏板会下降约 10mm。这是由于液压调节器对后轮制动液压力进行调整而造成的，属于正常现象。

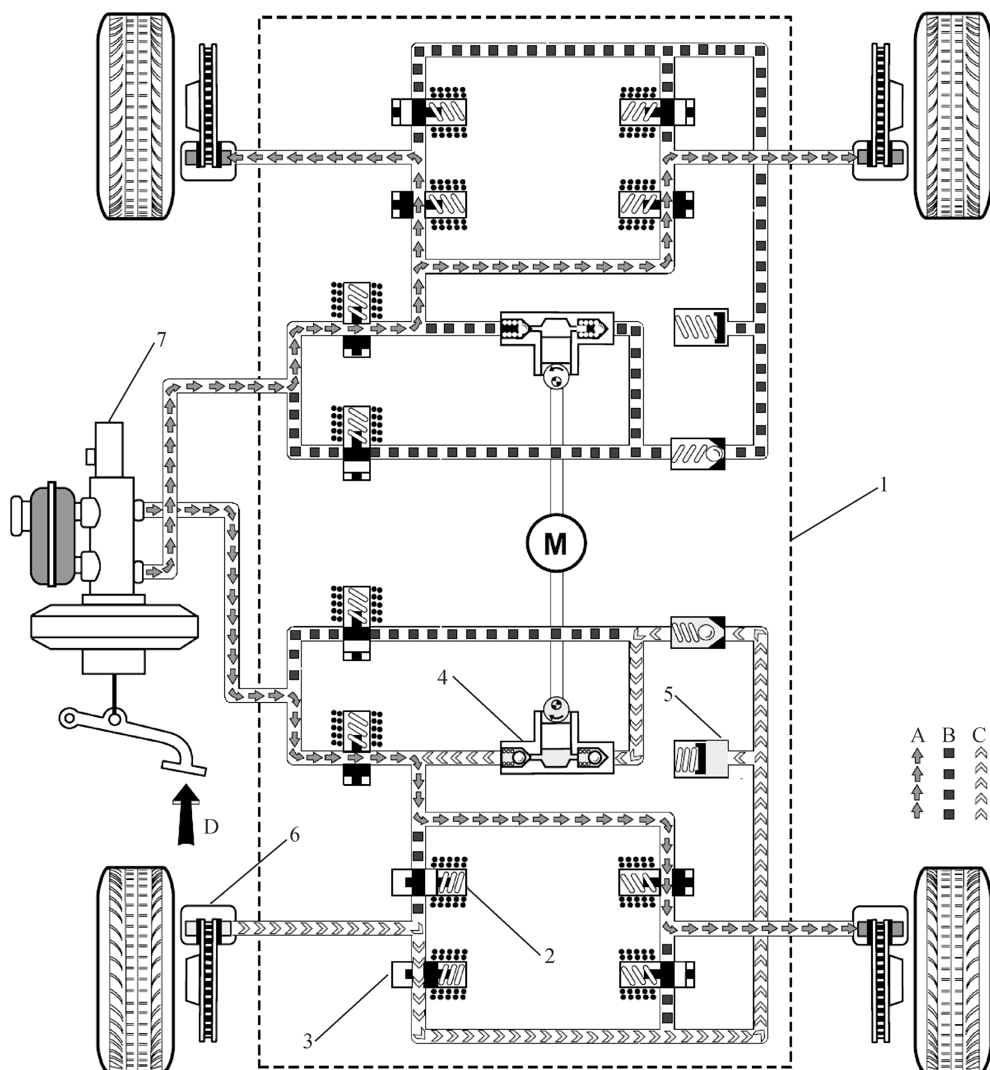


图 2-81 ABS 减压阶段液压回路

1—液压调节器总成 2—进口阀 3—出口阀 4—液压泵 5—储能器 6—制动轮缸 7—制动总泵
A—常规的制动液压力 B—停止的制动液压力流（电磁阀闭合） C—液压调节器泵产生的制动液压力流 D—常规制动液压力与释放的制动液压力相组合

电子制动力分配系统保持活性功能：

在制动过程中，电子制动力分配系统对保持车辆稳定性具有很重要的作用。因此，电子制动力分配系统在其软件中加入了一个保持活性（Keep Alive）功能。当电子控制单元检测到防抱死制动系统有故障时，根据故障类型，系统的某些部分仍然能起作用。这样，即使防抱死制动系统存在某些故障，电子制动力分配系统仍能对后轮实行一定程度的制动力比例分配。

当制动器接合 A 并且电子控制单元（ECU）检测到后轮达到比前轮减速更快的点时，液压调节器就会调节后轮制动液压力 B 以保持后轮制动力并防止车轮抱死。电子制动力分配系统在滑移率增加到需要实行 ABS 制动干预之前开始工作。

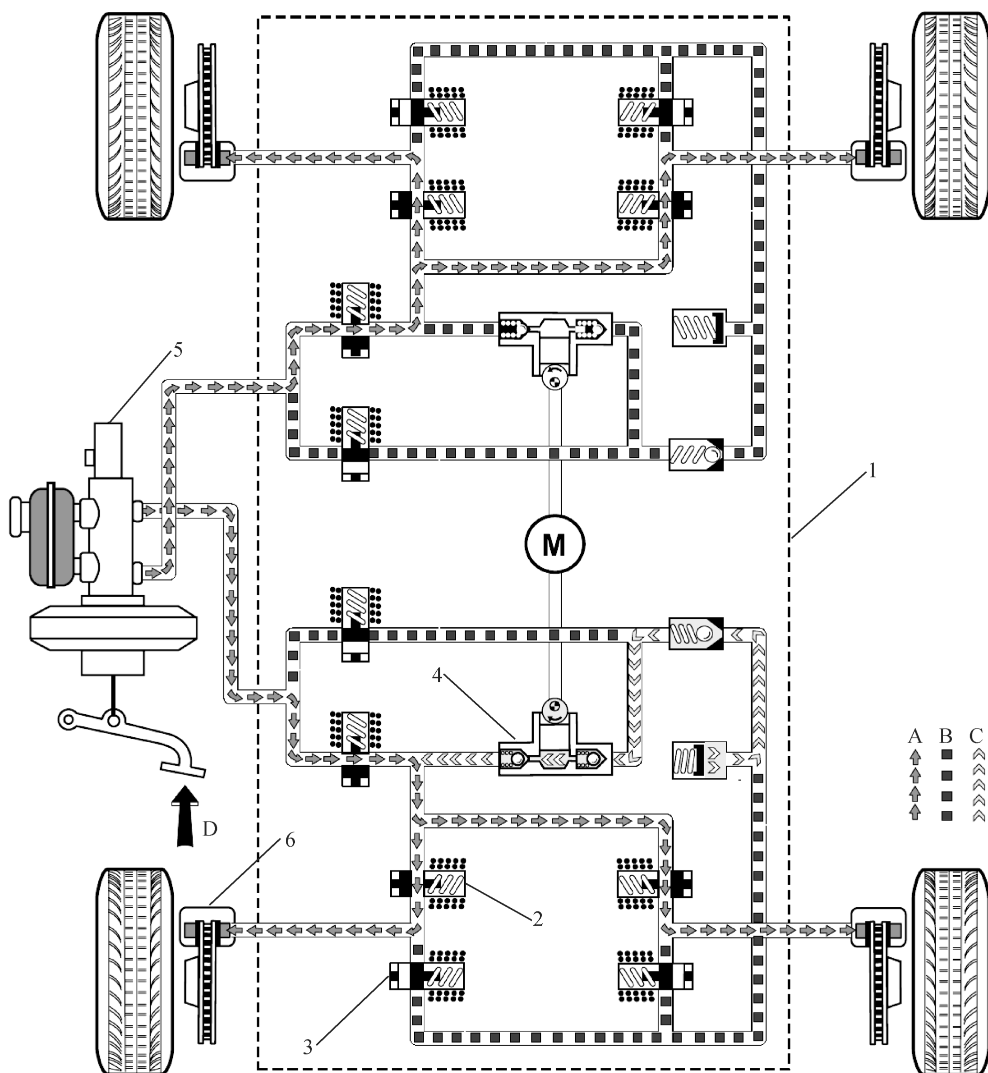


图 2-82　ABS 增压阶段液压回路

1—液压调节器总成　2—进口阀　3—出口阀　4—液压泵总成　5—制动总泵　6—制动轮缸　A—常规的制动液压力　B—停止的制动液压力流（电磁阀闭合）　C—液压调节器泵产生的制动液压力流　D—制动踏板踩下

假设后轮开始滑移。如图 2-83 所示，电子控制单元监测并判断每个车轮转速传感器的信号以确定车轮是否滑移。当电子控制单元确定后轮减速比前轮快，但减速度还没有达到需要 ABS 干预的临界点时，电子控制单元将切换到 EBD 保压阶段。

作为电子制动力分配系统保压阶段的第一步，电子控制单元将向液压调节器 1 发送一个控制信号，以关闭后进口阀 2 并将后轮制动回路与制动总泵隔离开来。这样，无论通过制动踏板 D 所施加的制动液压力 A 为多大，都保持了后轮制动液压力。

假设在系统已处于保压阶段时后轮减速仍然比前轮快。如图 2-84 所示，如果电子控制单元检测到在电子制动力分配系统已处于保压阶段时后轮减速仍然比前轮快，则电子控制单元将切换到减压阶段。电子控制单元向液压调节器 1 发送控制信号以：

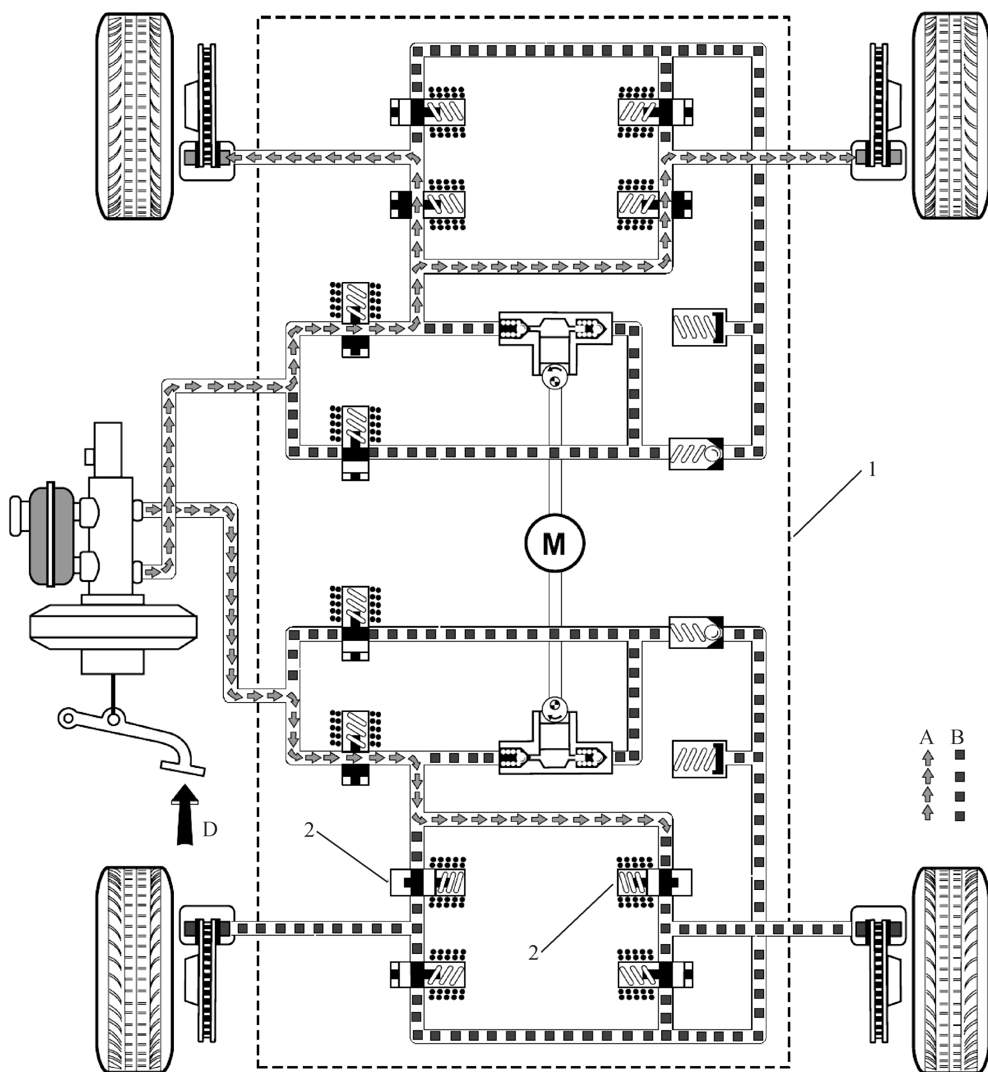


图 2-83　EBD 保压阶段液压回路

1—液压调节器总成　2—后进口阀　A—常规的制动液压力　B—停止的制动液压力流（电磁阀闭合）
D—制动踏板踩下

关闭后进口阀 2 并打开后出口阀 3。

在减压阶段，这将产生下列操作：

a. 后轮制动液直接进入储能器 4 以减小后轮制动液压力。

b. 储能器储存过量的后轮制动液。储能器能够储存电子制动力分配系统工作过程中所有的过量制动液。但是，如果储能器容量已经达到极限，并且电子控制单元仍判定后轮减速比前轮快，则电子控制单元将运行液压调节器泵 5，将过多的制动液返回到制动总泵 6。

假设因 EBD 减压阶段减小了制动力，前后轮以相同或几乎相同的速度旋转。

电子控制单元监测并比较每个车轮转速传感器的信号以确定车轮是否滑移。如果电子控制单元检测到由于 EBD 减压阶段减小了制动力，前后轮此时以相同或几乎相同的速度旋转，则电子制动力分配系统将从减压阶段切换到增压阶段。

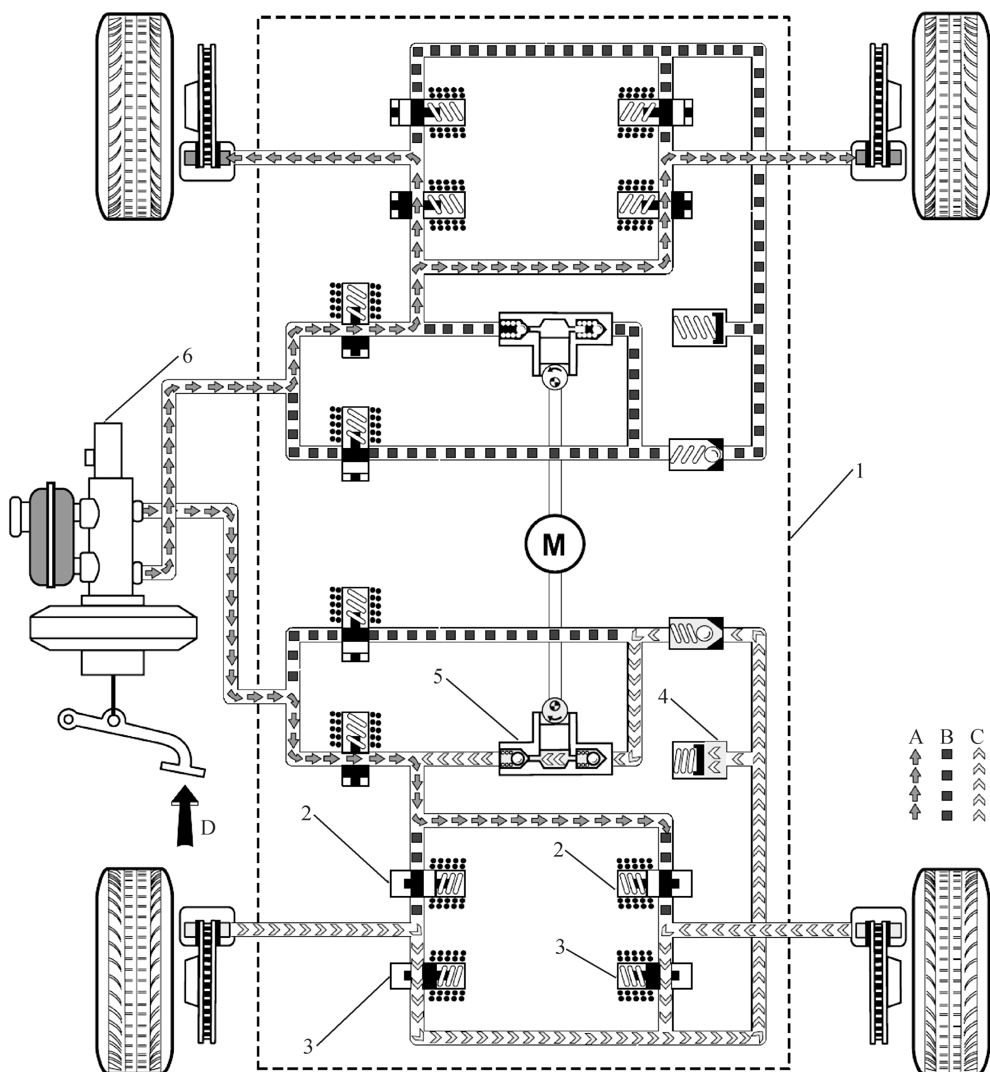


图 2-84　EBD 减压阶段液压回路

1—液压调节器总成　2—后进口阀　3—后出口阀　4—储能器　5—液压调节器泵　6—制动总泵

A—常规的制动液压力　B—停止的制动液压力流（电磁阀闭合）　D—制动踏板踩下

电子控制单元向液压调节器发送一个控制信号，使后出口阀和后进口阀恢复其常态静止位置。

总泵制动液 A 像常规制动操作那样被直接引入后制动轮缸。先前减小的后轮制动液压力现在已增加到正常的总泵制动液压力，前后轮制动液压力再次相等。参见“非 ABS 制动”，了解常规制动操作的详情。

这些 EBD 阶段不断重复，直到电子控制单元检测到车轮速度达到平衡或者制动踏板压力消除为止。根据路面情况，每秒钟大约有 4 到 6 个控制循环。

④ 牵引力控制（TCS 模式）。假设左后轮开始滑移。如图 2-85 所示，电子控制单元监测并比较每个车轮速度传感器的信号以确定车轮是否滑移。如果电子控制单元检测到由于路面湿滑或发动机转矩过大而导致车轮纵向空转，且没有施加制动，则电子控制单元将切换到

TCS（牵引力控制系统）模式。

在 TCS 模式中，电子控制单元首先向发动机控制模块（ECM）发送一个串行数据通信信号，请求减小发动机转矩。

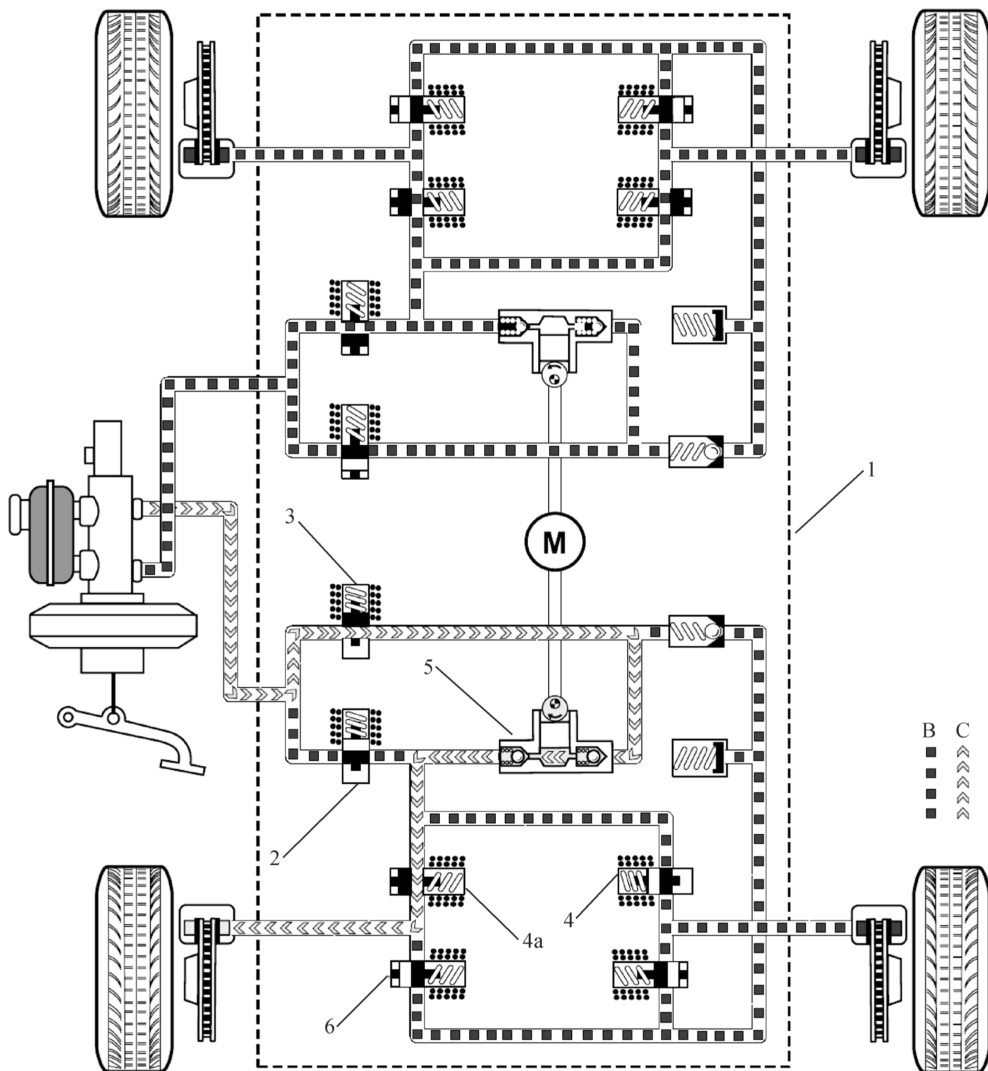


图 2-85 TCS 模式－制动干预液压回路

1—液压调节器总成 2—隔离阀 3—起动阀 4—右后进口阀 4a—左后进口阀 5—液压泵 6—左后出口阀 B—停止的制动液压力流（电磁阀闭合） C—液压调节器泵产生的制动液压力流 M—泵电动机

当牵引力控制系统激活时，发动机功率可能会有轻微损失。功率减小是由发动机管理系统的发动机转矩减小功能造成的。

如果在发动机控制模块已执行发动机转矩减小功能后仍能检测到左后轮空转，则电子控制单元将实行 TCS 制动干预。

TCS 制动干预：

电子控制单元监测并比较每个车轮速度传感器的信号以确定车轮是否滑移。当发动机控制模块在路面湿滑或发动机转矩过大情况下执行了发动机转矩减小功能并且没有实行制动时，如果电子控制单元仍然检测到左后轮滑转，则电子控制单元将切换到 TCS 制动干预阶

段。在这个阶段，电子控制单元将向液压调节器 1 发送一个信号以：

关闭后隔离阀 2，打开后起动阀 3，关闭右后进口阀 4，运行液压调节器泵 5。

在 TCS 模式下，这将产生下列操作，这些操作每秒会执行约 4～6 次，并对一个或两个后轮产生作用：当液压泵积累了制动液压力时，后隔离阀将关闭，以使后轮制动回路与总泵隔离开来，防止制动液返回总泵。

右后进口阀将关闭，以隔离右后轮液压回路，使液压调节器只向左后轮提供制动液压力。

后起动阀被打开，使制动液从制动总泵进入液压泵中。

液压泵将制动液压力 C 施加到左后轮制动轮缸上，以阻止左后轮空转。

液压调节器像在 ABS 模式那样调节左后进口阀 4a 和左后出口阀 6，以便获得最大的路面牵引力。ABS 和 TCS 模式之间的差别在于，在 TCS 模式下是增加制动液压力以阻止车轮空转。而在 ABS 模式下是减小制动液压力以避免车轮抱死。

如果在 TCS 模式下人工实行制动，则制动开关将向电子控制单元发送一个信号，以退出 TCS 制动干预模式，而允许人工制动。

⑤ 电子稳定程序（ESP）。电子稳定程序（ESP）用于在高速转弯或在湿滑路面上行驶时提供最佳的车辆稳定性和方向控制。

电子稳定程序包括以下部件：

用于确定驾驶员转向输入的转向盘转角传感器，电子控制单元利用它来计算驾驶员想要的行驶方向；用于测量车辆绕其纵轴旋转角度的横向偏摆率传感器，电子控制单元利用它来计算车辆的目标行驶方向，以及牵引力控制系统的主动制动和发动机转矩减小功能，用于防止车轮空转。

当电子稳定程序检测到车轮侧向滑移或计算得到的车辆方向偏离实际的车辆方向时，电子稳定程序将利用 ABS-TCS 系统中的发动机转矩减小功能和主动制动控制功能来稳定车辆并使车辆正确转向。

ESP 发动机转矩减小：

电子稳定程序（ESP）监测车轮速度传感器、横向偏摆率传感器和转向盘转角传感器以确定车轮是否侧向滑移。当检测到车轮侧向滑移时，电子稳定程序将首先利用牵引力控制系统中的发动机转矩减小功能并向发动机控制模块（ECM）发送一个串行数据通信信号，请求减小发动机转矩。另外，如果电子稳定程序仍然检测到车轮侧向滑移，则电子稳定程序将实行主动制动干预。

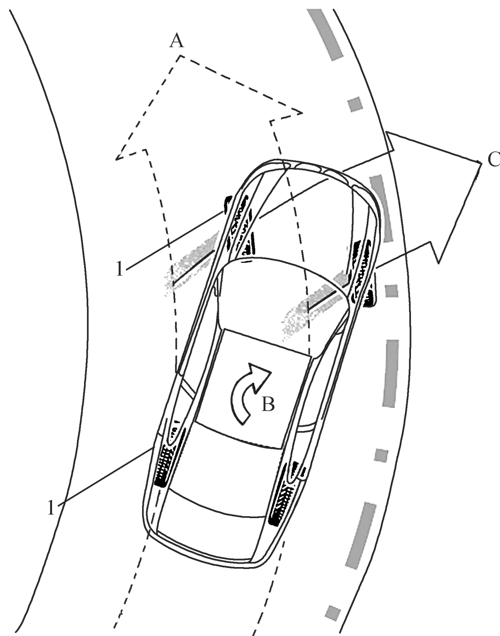


图 2-86　转向不足

1—内侧车轮

ESP 制动干预：

a. 转向不足。当电子控制单元接收到输入信号并确定车辆开始转向不足时，电子稳定程序将实行主动制动干预。

转向盘转角传感器向电子控制单元发送一个驾驶员期望的转向方向 A 的信号，横向偏摆率传感器检测到车辆开始打转 B，同时车辆前端开始向方向 C 滑移，如图 2-86 所示。

电子稳定程序利用 ABS-TCS 系统中已有的主动制动控制功能向车辆的一个或两个内侧车轮 1 施加计算得到的制动力，以稳定车辆并朝驾驶员想要的方向转向。向内侧车轮 1 施加制动力将减慢车辆的内侧，这将促使车辆绕其纵轴 A 旋转，如图 2-87 所示。

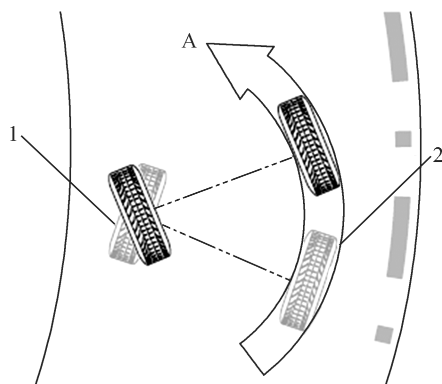


图 2-87 制动内侧车轮使车辆绕纵轴向内旋转

1—内侧车轮 2—外侧车轮

假设电子控制单元检测到车辆开始出现转向不足情况。如图 2-88 所示，电子控制单元监测并比较来自横向偏摆率传感器、转向盘转角传感器和每个车轮速度传感器的信号，以确定车轮是否滑移。当电子控制单元检测到车辆转向不足时，电子控制单元将向液压调节器 1 发送一个信号以：

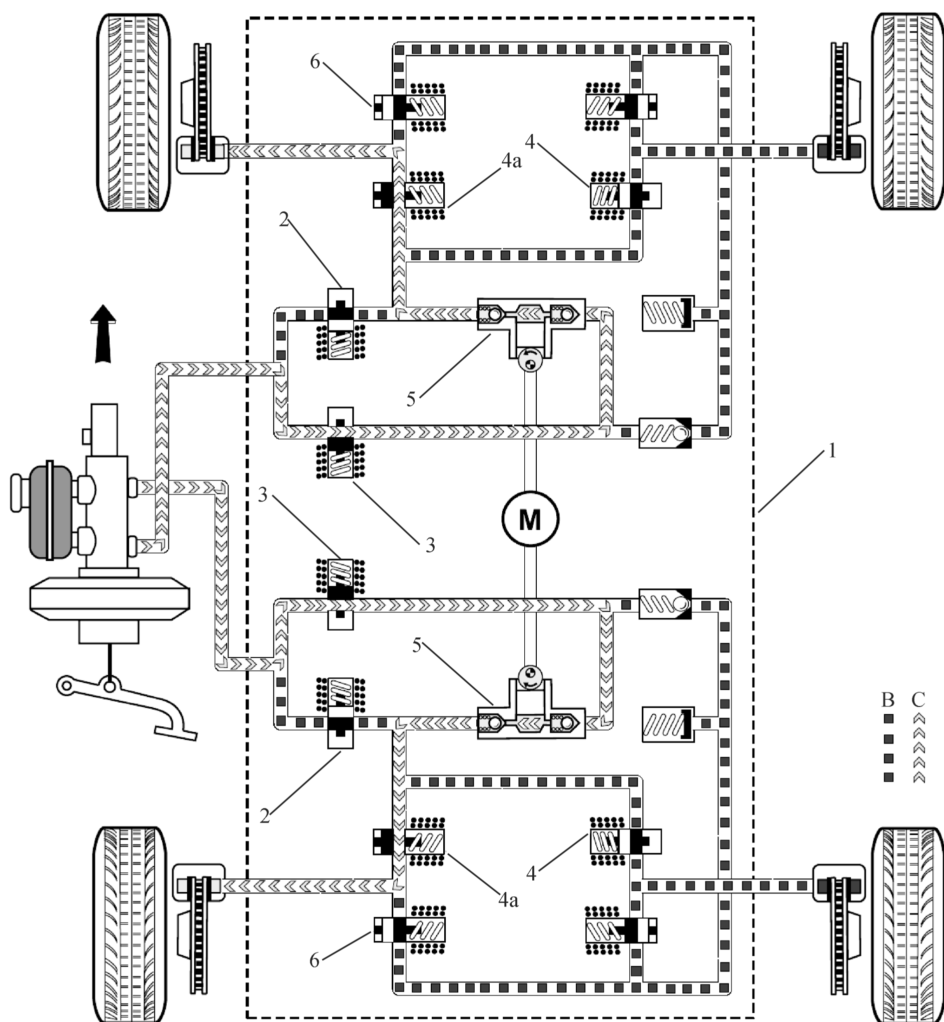


图 2-88 ESP 转向不足制动干预液压回路

1—液压调节器总成 2—隔离阀 3—起动阀 4—右前和右后进口阀 4a—左前和左后进口阀 5—液压泵 6—左前和左后出口阀 B—停止的制动液压力流（电磁阀闭合） C—液压调节器泵产生的制动液压力流 M—泵电动机

关闭前和后隔离阀 2，打开前和后起动阀 3，关闭右前和右后进口阀 4，运行液压调节器泵 5。

这将导致以下操作：

当液压泵积累了制动液压力时，后隔离阀将关闭，以使后轮制动回路与总泵隔离开来，防止制动液返回总泵。

右前和右后进口阀被关闭以隔离右轮液压回路，从而使液压调节器只向左轮提供制动液压力。

后起动阀被打开，使制动液从制动总泵进入液压泵中。

液压泵将合适的制动液压力 C 施加到左轮制动轮缸上，以使车辆朝驾驶员想要的方向转向。

液压调节器像在 TCS 模式下那样调节左前和左后进口阀 4a 及出口阀 6，以便获得最大的路面牵引力。

如果在 ESP 模式下进行人工制动，则制动开关将向电子控制单元发送一个信号，退出 ESP 制动干预模式并允许常规制动。

b. 转向过度。当电子控制单元接收到输入信号并确定车辆开始转向过度时，电子稳定程序将实行主动制动干预。

转向盘转角传感器向电子控制单元发送一个驾驶员期望的转向方向 A 的信号，并且横向偏摆率传感器检测到车辆开始打转（B），同时车辆后端开始向方向 C 滑移。如图 2-89 所示。

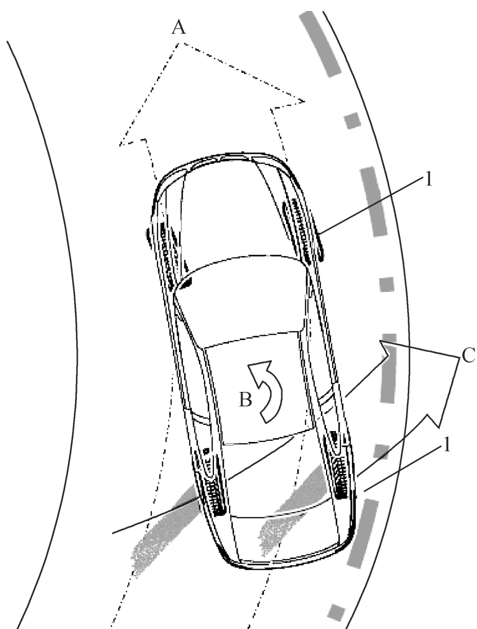


图 2-89　转向过度

1—外侧车轮

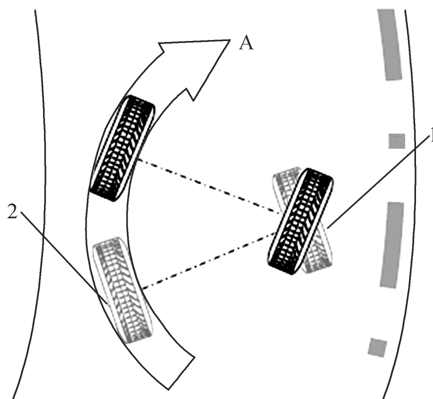


图 2-90　制动外侧车轮使车辆绕纵轴向外旋转

1—外侧车轮　2—内侧车轮

电子稳定程序利用 ABS-TCS 系统中已有的主动制动控制功能向车辆的一个或两个外侧车轮 1 施加计算得到的制动力，以稳定车辆并向驾驶员想要的方向转向。

向外侧车轮 1 施加制动力将减慢车辆的外侧，这将促使内侧车轮绕车辆纵轴 A 旋转，如图 2-90 所示。

假设电子控制单元检测到车辆开始出现转向过度情况。如图 2-91 所示，电子控制单元监测并比较来自横向偏摆率传感器、转向盘转角传感器和每个车轮速度传感器的信号，以确定车轮是否滑移。当电子控制单元检测到车辆转向过度时，电子控制单元向液压调节器 1 发送一个信号以：

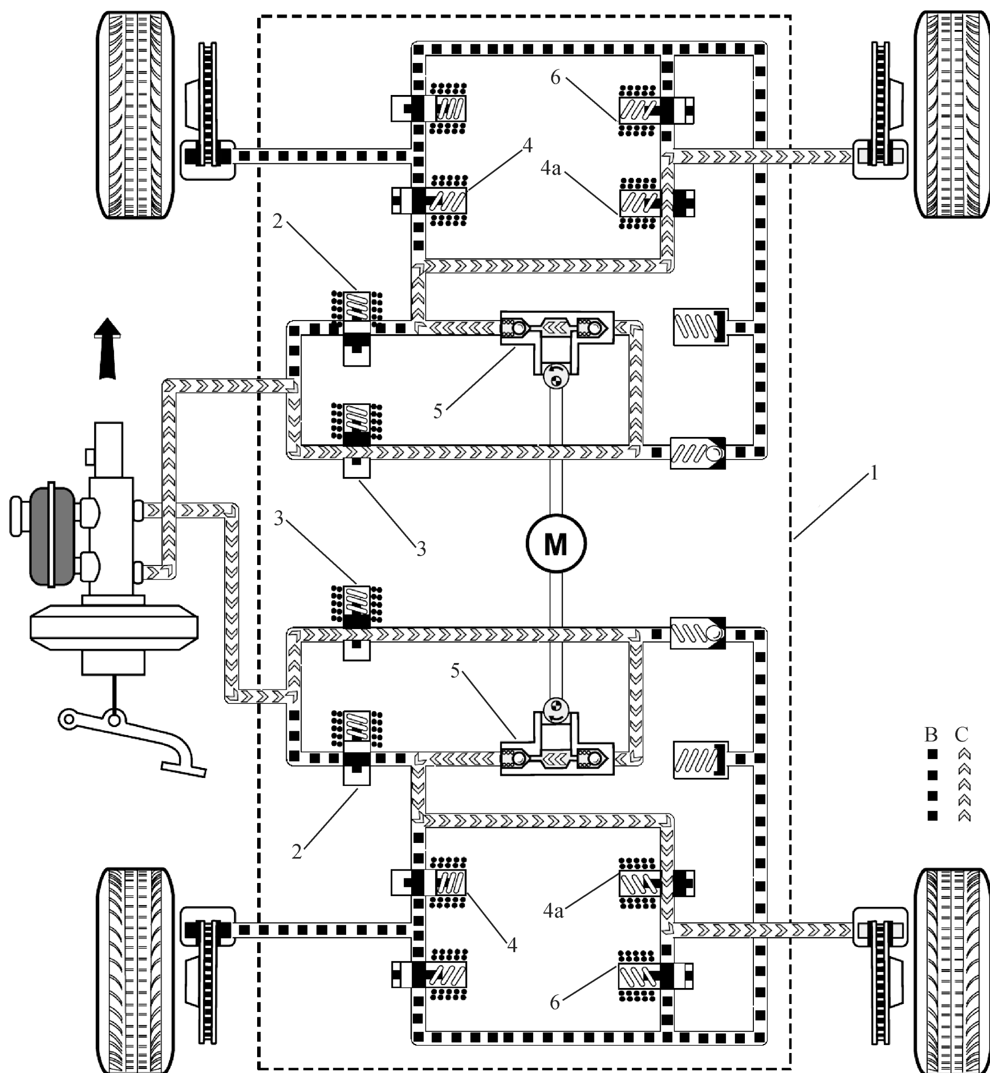


图 2-91　ESP 转向过度制动干预液压回路

1—液压调节器总成　2—隔离阀　3—起动阀　4—左前和左后进口阀　4a—右前和右后进口阀　5—液压泵　6—右前和右后出口阀　B—停止的制动液压力流（电磁阀闭合）　C—液压调节器泵产生的制动液压力流　M—泵电动机

关闭前和后隔离阀 2，打开前和后起动阀 3，关闭左前和左后进口阀 4，运行液压调节器泵 5。

这将导致以下操作：

当液压泵积累了制动液压力时，后隔离阀将关闭，以将制动液回路与总泵隔离开来，防止制动液返回总泵。

左前和左后进口阀被关闭以隔离左轮液压回路，从而使液压调节器只向右轮提供制动液压力。

起动阀被打开，使制动液从制动总泵进入液压泵中。

液压泵将合适的制动液压力 C 施加到右轮制动轮缸上，以使车辆朝驾驶员想要的方向转向。

液压调节器像在 TCS 模式下那样调节右前和右后进口阀（4a）及出口阀（6），以便获得最大的路面牵引力。

如果在 ESP 模式下进行人工制动，则制动开关将向电子控制单元发送一个信号，退出 ESP 制动干预模式并允许常规制动。

（2）奥迪 Q7 新型电控行车稳定系统（ESP）简介　奥迪 Q7 使用了 Continental-Teves 公司生产的名称为 MK25E1 的新型 ESP 系统。

新型的 MK25E1 ESP 系统采用 2 个线性控制式转换阀、4 个线性控制式进气阀和 1 个集成式压力传感器。与之前的 ESP 系统相比，它具备更多的功能、更大的液压泵、功率更高的电动机、空间更大的内部气室，且带有前进/后退识别和安装位置识别的主动式转速传感器。

Teves 公司新型的 MK25E1 ESP 系统在原有的功能（制动防抱死系统、电子制动力分配、牵引力控制系统、电子差速锁、发动机牵引转矩调节系统、液压制动辅助系统）上还增加了如下新功能：

制动监控系统（仅用于带有自适应巡航控制系统的汽车）、列车稳定功能、防侧翻稳定功能、制动力衰减辅助系统（FBS）、制动盘清洗器、紧急制动信号和越野模式。

① 制动监控系统（braking guard）。当本车迫近前方车辆并有碰撞风险时，该功能自动向驾驶员发出警告。此功能要求车辆必须装备有自适应定速巡航系统（ACC）。ACC 雷达传感器能够测量出前方行驶车辆的距离及其车速。ACC 控制单元处理这些测量值并评估是否存在碰撞危险。必要时将分两级发出警告：

a. 同时发出视觉和听觉信号进行第一级警告。

b. 短时间内建立制动压力。ACC 控制单元为此发出一条 CAN 信息，并向 ESP 控制单元提出制动要求。ESP 控制单元控制回流泵并对前轴进行短时制动。

即使 ACC 没有被激活，制动监控系统仍会处于启用状态。

② 列车稳定功能。该功能用于安装有拖车挂钩的汽车。在某些行驶状态下，拖车的小幅摆动可能会自行加剧，并导致危险的行驶状态。这类情况通常出现在 75～120km/h 的车速下。如果在高于此临界车速下出现摆动，则摆动的幅度将持续增加。拖车的这种往复式摆动还会导致牵引车围绕其垂直轴线做周期性摆动。

偏转率传感器 G202 可以对这种偏转情况进行识别，并由 ESP 控制单元 J104 进行分析。最初，ESP 控制单元会对前轴进行间歇式短时调整，进行校正。如果调整效果不足，ESP 控制单元将会指示发动机控制单元 J220 降低转矩输出，进而降低车速。同时，ESP 还会同时对四个车轮进行制动。另外，挂接拖车并建立电气连接后，ESP 控制单元可以进行自动识别。

③ 侧翻稳定功能。在有侧翻危险情况下，将通过降低横向加速度使汽车保持稳定。这项调整是通过在前轴上施加强力制动而实现的，另外，发动机转矩也会有所降低。此时，驾驶员会感觉到系统的干涉作用，尽管可能并未意识到当前的危险行驶状态（从约 0.6g 的横向加速度起）。在调整过程中，ESP 指示灯将会闪烁。

④ 紧急制动信号。在减速度非常大的紧急制动中，或者在 ABS 介入的制动中，报警闪光灯都会开启。

制动压力的建立通过激活主动式制动助力器并且利用 ESP 主动建立压力而实现。主动式制动助力器在 ESP 回流泵吸气侧迅速建立压力。这使得 ESP 得以迅速建立制动压力。

⑤ 制动力衰减辅助系统（FBS）。当因摩擦片与制动盘之间的摩擦系数较低使制动效果下降时，ESP 泵会额外产生压力以弥补制动力的衰减。在检测到制动压力较高但车轮未达到预期控制效果时，此功能将会介入。当驾驶员明显减轻制动压力后，该功能自动关闭。对此没有显示提示。

⑥ 制动盘清洗器。当车速信号＞50km/h 且在 CAN 总线上出现前风窗刮水器启用命令（包括间歇式刮水）时，前轮制动摩擦片将会每隔约 3km 接合一次制动，以去除制动盘上的水膜。为此，ESP 泵会间歇式启用并产生约 0.08～0.12MPa 的压力约 8s。

此功能没有显示提示。一旦驾驶员主动进行制动操纵，该系统的里程计算自动归零。

⑦ 越野模式。该模式的基本原理在于，为了改善车辆在松软地面上（越野）行驶时的牵引力及制动性能，对 ESP/ASR/EDS 和 ABS 的干预进行了优化。启用 ESP/ASR 和 ABS 干预功能的临界值根据车速的不同而变化。

允许更大一些的车轮打滑量，控制系统不会因此被激活。电子差速锁功能（EDS）在转速差较小时就已启动。

启动：短时按压（＜3s）ESP 按钮，启动该模式。

显示：驾驶员信息系统显示屏中显示信息“off road”（越野），黄色 ESP 指示灯亮起。

在越野模式时，列车稳定功能将被关闭，否则越野路况可能造成关于拖车摆动的误报警。

“倒车 ABS”激活：当车辆在上坡路面中向后溜车时，EBV 功能会使车辆后轴上的制动力小于前轴。而在车辆倒车行驶时，对于制动而言，后轴实际上已经成为了前轴，因此后轴上的制动力也会更大。

启动“下坡行驶辅助功能”：在最大坡度约为 10％～15％且车速未超过 20km/h 时，下坡行驶辅助功能通过对制动进行干预为驾驶员提供支持。下坡行驶中，由于路面光滑度不同，或由于某车轮因路面不平而离开地面，都可能造成车轮转速不同，此时该功能将自动启动。此功能的目的在于，在较陡的下坡路段行驶时，无需驾驶员干涉而使汽车保持恒定车速。

提示：在越野模式下无法利用 ESP 按钮关闭 ESP 系统。

（五）丰田电子控制制动系统（ECB）

该系统不再沿用常规助力制动器，而是由制动输入、电源和液压控制部分组成。ECB（电子控制制动系统）组成示意图如图 2-92 所示（以雷克萨斯 LS460 车型为例）。

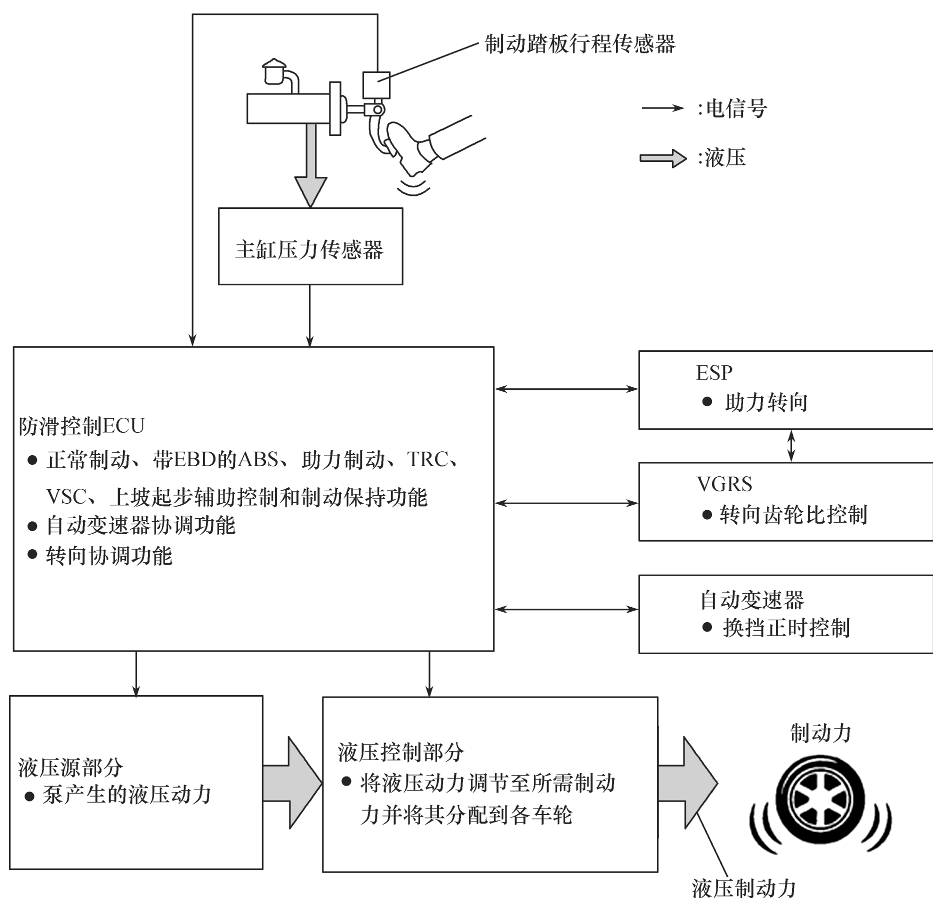


图 2-92　ECB（电子控制制动系统）组成示意图

正常制动时，主缸产生的液压力无法直接作用于轮缸，但可用作液压信号。而通过调节制动执行器液压源部分的液压产生实际控制压力，从而作用于轮缸。

备用电源用作辅助电源，可稳定地向制动系统供电。

ECB（电子控制制动系统）可根据传感器和 ECU 所提供的信息控制带 EBD 的 ABS 的液压控制、助力制动、TRC 和 VSC 功能等。

（1）丰田电子控制制动系统（ECB）的主要控制功能　丰田电子控制制动系统（ECB）的主要控制功能除 ABS 外，还具有电子制动力分配（EBD）、辅助助力制动（BA）、牵引力控制（TRC）、车辆稳定控制（VSC）、上坡起步辅助控制、制动保持控制、自动制动控制等。

1）EBD（电子制动力分配）控制功能。原为机械制动力分配，现由防滑控制 ECU 电子控制，该 ECU 可根据车辆的行驶状况精确地控制制动力。

① 前/后轮制动力分配。如图 2-93、图 2-94 所示，如果车辆向前直线行驶时施加制动，则作用力的转移减小了施加到后轮的力。防滑控制 ECU 通过来自车轮转速传感器的信号判断此状况，且制动执行器调节后轮的制动力分配以优化控制。

例如，制动过程中施加到后轮的制动力会因车辆是否负载或减速度的不同而不同。

因此，优化控制后轮的制动力分配可有效利用此状态下后轮的制动力。

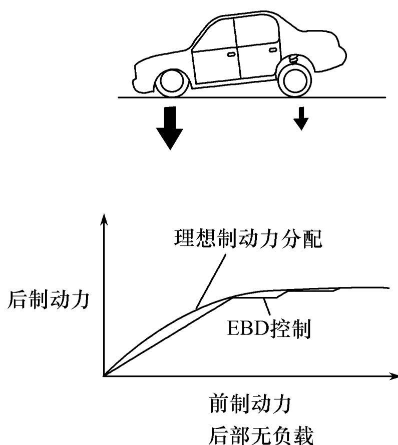


图 2-93 后部无负载时的前后制动力分配

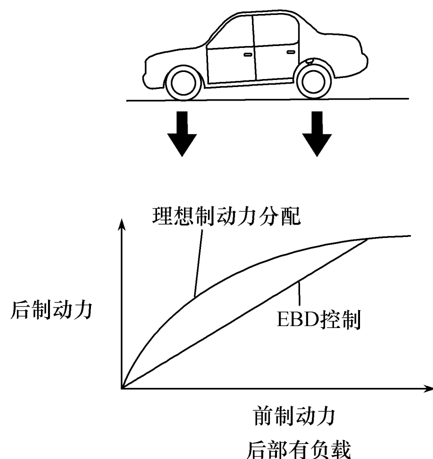


图 2-94 后部有负载时的前后制动力分配

②左/右轮制动力分配（转向制动时）。车辆转向过程中施加制动时，内侧车轮的作用力减小而外侧车轮作用力增大。

防滑控制 ECU 通过来自车轮转速传感器的信号判断此状况，且制动执行器调节制动力以优化控制内、外侧车轮制动力的分配，如图 2-95 所示。

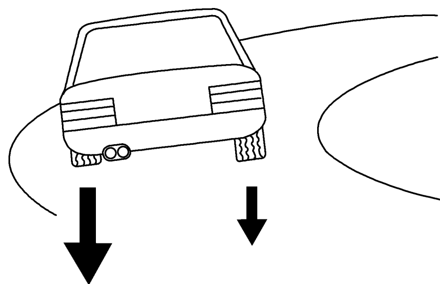


图 2-95 转向制动时的左右制动力分配

2）紧急助力制动功能。紧急助力制动功能判定快速踩下制动踏板为紧急制动，且即使驾驶员未用力踩下制动踏板，也会提供助力制动。紧急情况下，驾驶员（尤其是没有经验的驾驶员）通常会惊慌失措而无法用力踩下制动踏板。

防滑控制 ECU 根据主缸压力传感器和制动踏板行程传感器的信号，计算踩下制动踏板的速度和力度，然后判定驾驶员是否进行紧急制动。如果防滑控制 ECU 判定驾驶员要进行紧急制动，则助力制动功能会激活制动执行器以增大制动液压。

助力制动功能与 ABS 结合使用有助于提高车辆的制动性能。

助力制动功能的主要特征是提供了助力制动的时间和强度，无需驾驶员判断制动是否出现异常。驾驶员松开制动踏板时，该功能会减小所提供的制动力。

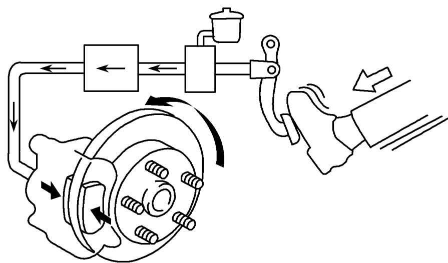


图 2-96 不带助力制动功能的系统组成图示

图 2-96、图 2-97 分别为不带助力制动功能的系统组成与带助力制动功能的系统组成示意图。带助力制动功能与不带助力制动功能的车辆，其制动时间与制动力的关系如图 2-98 所示。

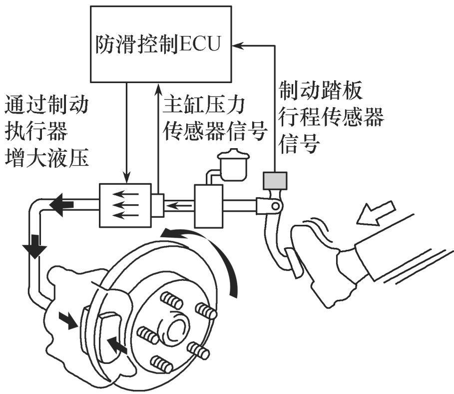


图 2-97　带助力制动功能的系统组成图示

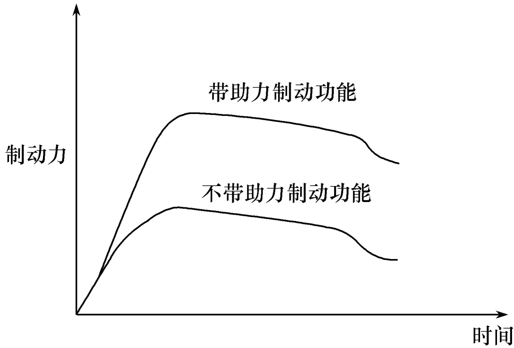


图 2-98　两种系统在快速制动时制动时间与制动力的关系

最大制动力与车辆是否带有助力制动功能无关。

3）TRC 功能。如果驾驶员用力踩下加速踏板进行初始加速或在光滑路面上加速时，则驱动轮会因产生的转矩过大而打滑。通过对驱动轮进行液压制动控制和调节节气门来控制发动机输出功率，TRC 有助于使驱动轮的滑动减至最小，从而产生适合路况的驱动力。

例如，可对带 TRC 功能和不带 TRC 功能的两辆车进行比较。当它们分别在摩擦系数不同的路面上行驶时，如果驾驶员均突然踩下加速踏板，则如图 2-99 所示，光滑路面上，驱动轮将会打滑，从而使车辆无法平稳加速。

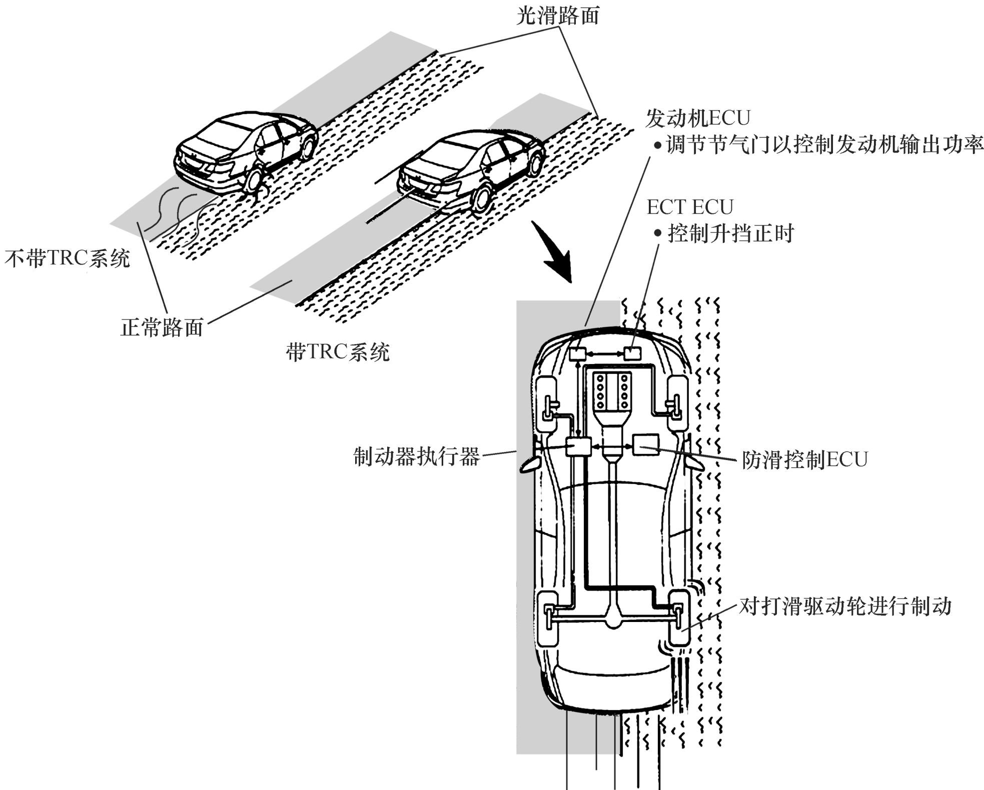


图 2-99　ECB 系统的 TRC 功能

然而车辆带有 TRC 时，防滑控制 ECU 会立即判定车辆状态并操作制动执行器，以给打滑的驱动轮施加制动。然后，发动机 ECU 接收来自防滑控制 ECU 的信号并调节节气门，以控制发动机输出功率。因此，TRC 可在驾驶员加速时使车辆保持稳定。

在摩擦系数不同的路面上的行驶状况

4）VSC 功能概要

① 概述。下列两种情况会使轮胎超出其横向附着极限。

在下列任一情况下，VSC 功能通过控制驱动力和对各车轮的制动来辅助控制车辆的行驶状况。

与后轮相比，前轮附着力减小时，前轮出现打滑趋势，如图 2-100 所示。

与前轮相比，后轮附着力减小时，后轮出现打滑趋势，如图 2-101 所示。

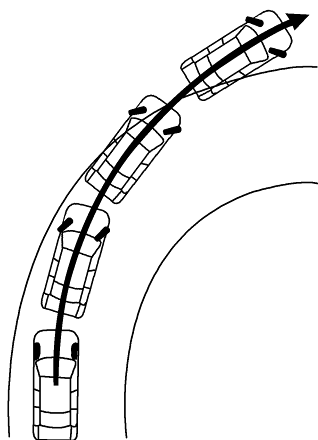


图 2-100 前轮打滑时车辆的运动轨迹

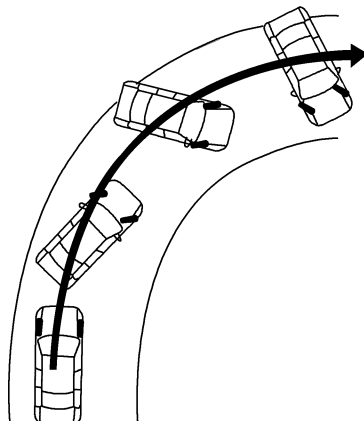


图 2-101 后轮打滑时车辆的运动轨迹

② 判定车辆状况的方法。由传感器检测转向角、车速、车辆横摆率和车辆横向加速度，然后通过防滑控制 ECU 来判定车辆状态。

a. 判定前轮打滑。由车辆目标横摆率和实际横摆率之间的差来决定车辆前轮是否打滑。

车辆的实际横摆率小于驾驶员操作转向盘所产生的横摆率（目标横摆率由车速和转向角决定）时，表示车辆将以大于行驶轨迹的角度转向，如图 2-102 所示。

防滑控制 ECU 从而可以判定前轮打滑趋势较大。

b. 判定后轮打滑。由车辆侧偏角和车辆侧偏角速度（单位时间内侧偏角的变化）的值决定车辆后轮是否打滑。车辆侧偏角大时，侧偏角速度也大，防滑控制 ECU 从而可以判定车辆后轮打滑趋势较大，如图 2-103 所示。

③ VSC 工作原理。防滑控制 ECU 判定车辆前轮或后轮有打滑趋势时，会减小驱动力并对前轮或后轮施加制动以控制车辆的横摆力矩。

VSC 的基本工作原理如下。但是，控制方法因车辆特征和行驶状况的不同而不同。

a. 防止前轮打滑。防滑控制 ECU 判定前轮打滑趋势较大时，会使其相应减小。防滑控制 ECU 控制驱动力输出并对转向时外侧的前轮和两个后轮施加制动以控制前轮打滑，如图 2-104所示。

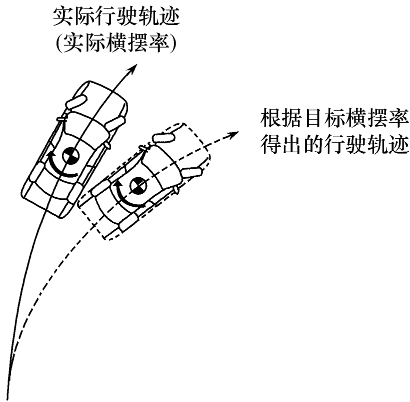


图 2-102　实际横摆率小于目标横摆率，ECU 判定前轮打滑

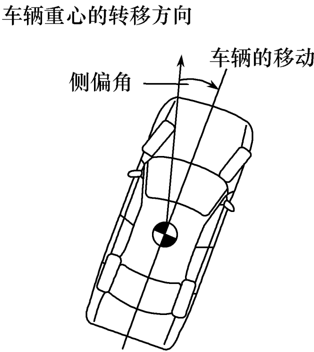


图 2-103　ECU 根据侧偏角和侧偏角速度判定后轮打滑

b. 防止后轮打滑。防滑控制 ECU 判定后轮打滑趋势较大时，会使其相应减小。此外，对转向时外侧的前轮施加制动并产生向外的惯性力矩来控制后轮打滑。除了通过制动力降低车速外，还能保证车辆的高稳定性，如图 2-105 所示。

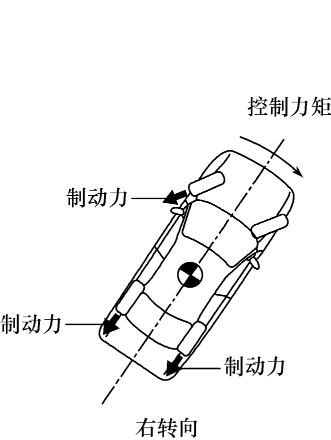


图 2-104　前轮打滑时的 VSC 控制

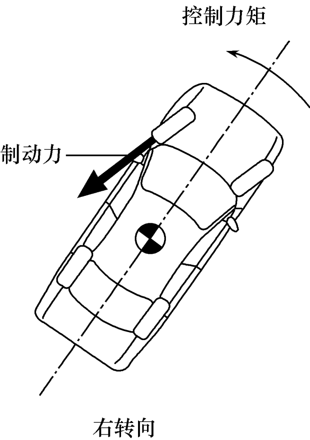


图 2-105　后轮打滑时的 VSC 控制

必要时，防滑控制 ECU 将向后轮施加制动。

5）上坡起步辅助控制功能。如图 2-106 所示，在陡坡上起步时，驾驶员从制动踏板换为加速踏板时车辆将后移，从而导致起步困难。为此，上坡起步辅助控制对所有车轮施加制动，直到车辆停止倒车。

如不带上坡起步辅助控制，驾驶员必须快速而准确地从制动踏板换到加速踏板。上坡起步辅助控制可以减小车辆的倒车速度，所以带上坡起步辅助控制时，车辆容易起步且驾驶员可轻松操作踏板。

满足下列条件时，上坡起步辅助控制起作用：

a. 变速杆位于 D 位或 S 位。

b. 未踩下制动踏板。

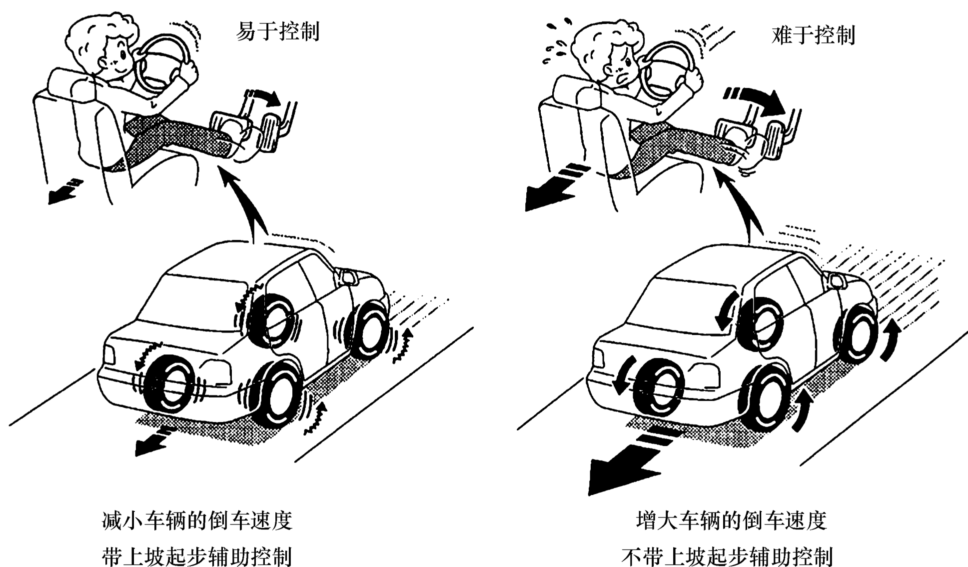


图 2-106 上坡起步辅助控制功能

c. 在坡路上起动车辆时，防滑控制 ECU 检测到车辆后滑。

6）制动保持功能。如图 2-107、图 2-108 所示，驾驶员踩下制动踏板并将车辆停在平坦路面或缓坡上时，为保持车辆稳定性，制动保持功能将保持 4 个车轮的轮缸压力。因此，即使驾驶员施加到制动踏板的力减小，车辆仍可保持稳定。

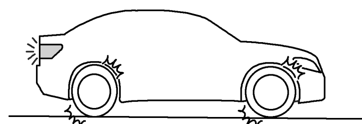


图 2-107 制动保持功能运行时

制动保持功能运行时，防滑控制 ECU 将使制动灯亮起。

车辆起步时，该系统会随驾驶员踩下加速踏板而自动释放轮缸压力。

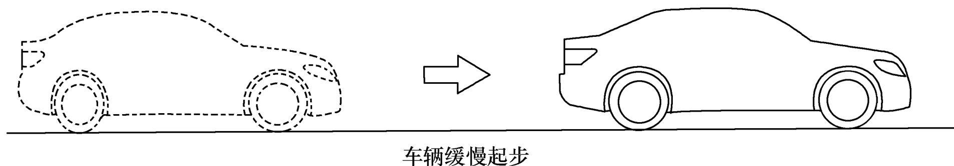


图 2-108 制动保持功能未运行时

7）自动制动控制功能

① 动态雷达巡航控制工作期间的自动制动控制（仅限于带动态雷达巡航控制系统的车型）。动态雷达巡航控制系统工作期间，如果本车与前方车辆间的距离缩小且通过完全关闭节气门不能充分减速，则防滑控制 ECU 会根据行驶辅助 ECU 的请求激活制动器执行器而施加制动。此时制动灯亮起，如图 2-109 所示。

如果还需进一步减速，则系统会使 VSC 警告蜂鸣器鸣响以提示驾驶员施加制动。该警告蜂鸣器与 VSC 系统的警告蜂鸣器为同一类型。

② 预碰撞安全系统（预碰撞安全系统工作期间）*。如果行驶辅助 ECU 判断出车辆发生碰撞的危险性很高，则将预碰撞制动控制信号发送到防滑控制 ECU，该信号分析车辆的

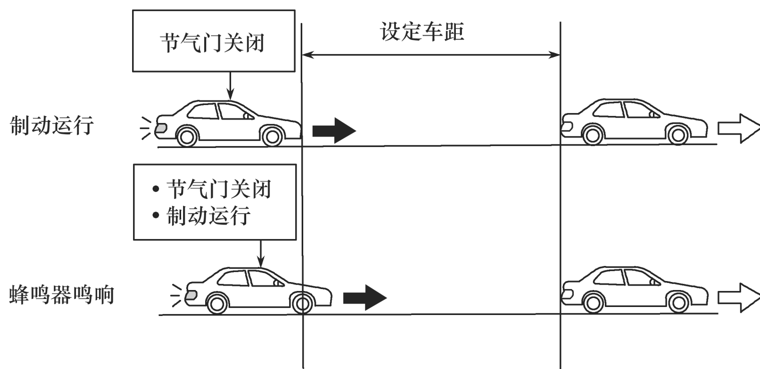


图 2-109　动态雷达巡航控制工作期间的自动制动控制

状态以及驾驶员施加制动的意图。防滑控制 ECU 接收到此信号后，则使预碰撞安全系统进行控制以免车辆发生碰撞。其工作过程如图 2-110、图 2-111 所示。因此，该系统有助于避免车辆发生碰撞。

（2）丰田电子控制制动系统（ECB）的总体结构组成与主要部件位置分布　图 2-112 为丰田 ECB 系统图。

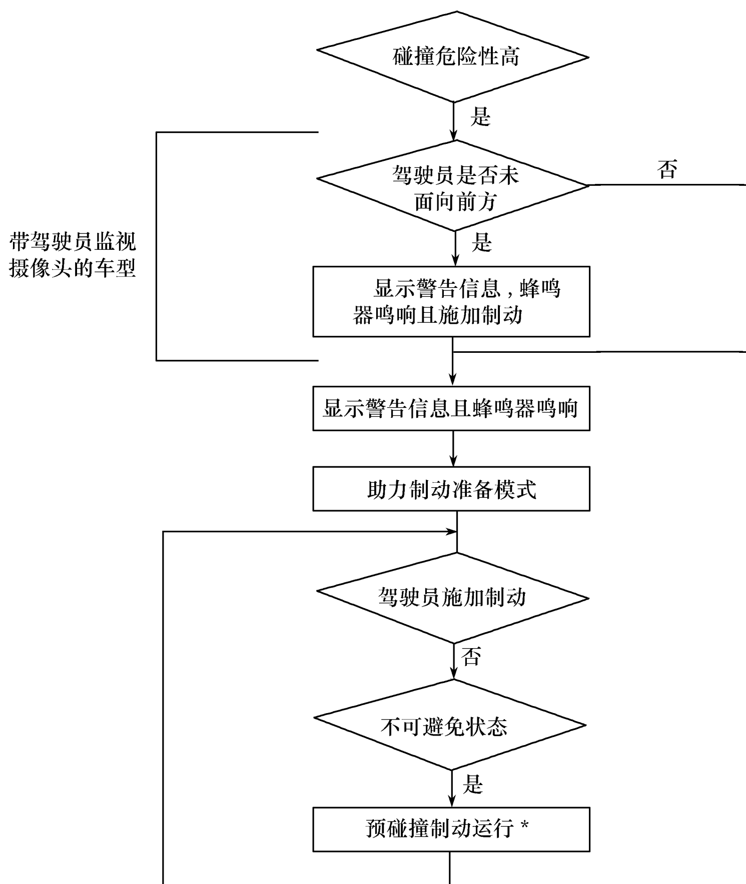


图 2-110　预碰撞安全系统的工作流程

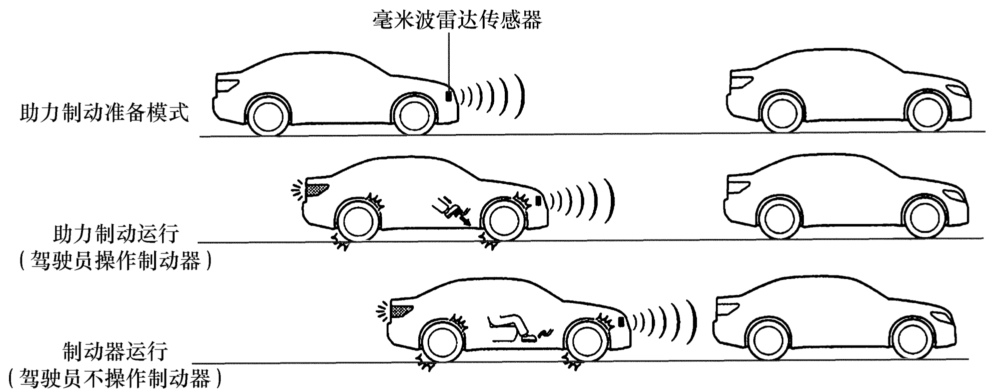


图 2-111 预碰撞安全系统的工作过程

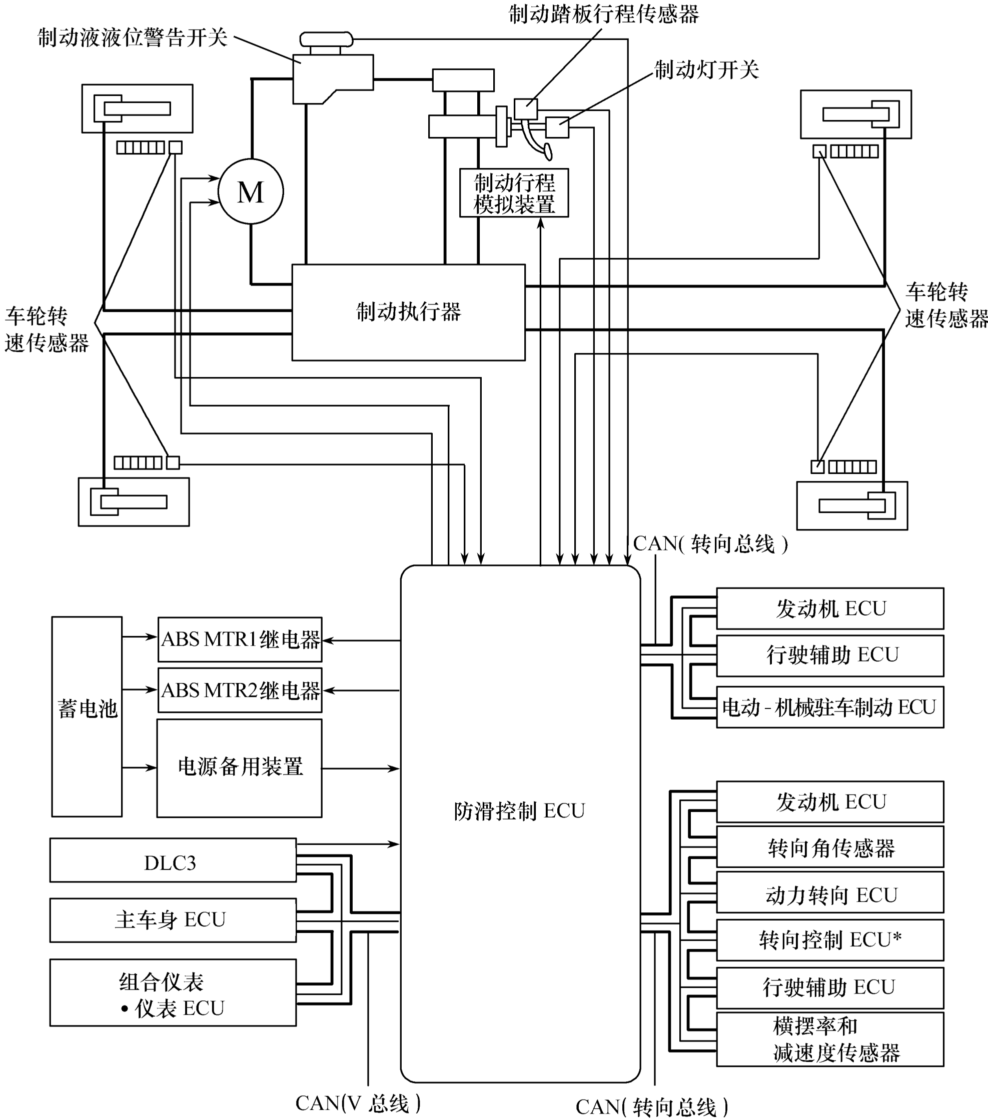


图 2-112 丰田 ECB 系统图示

丰田 ECB 电控系统的组成框图如图 2-113、图 2-114 所示。

主部件位置分布图如图 2-115 所示。

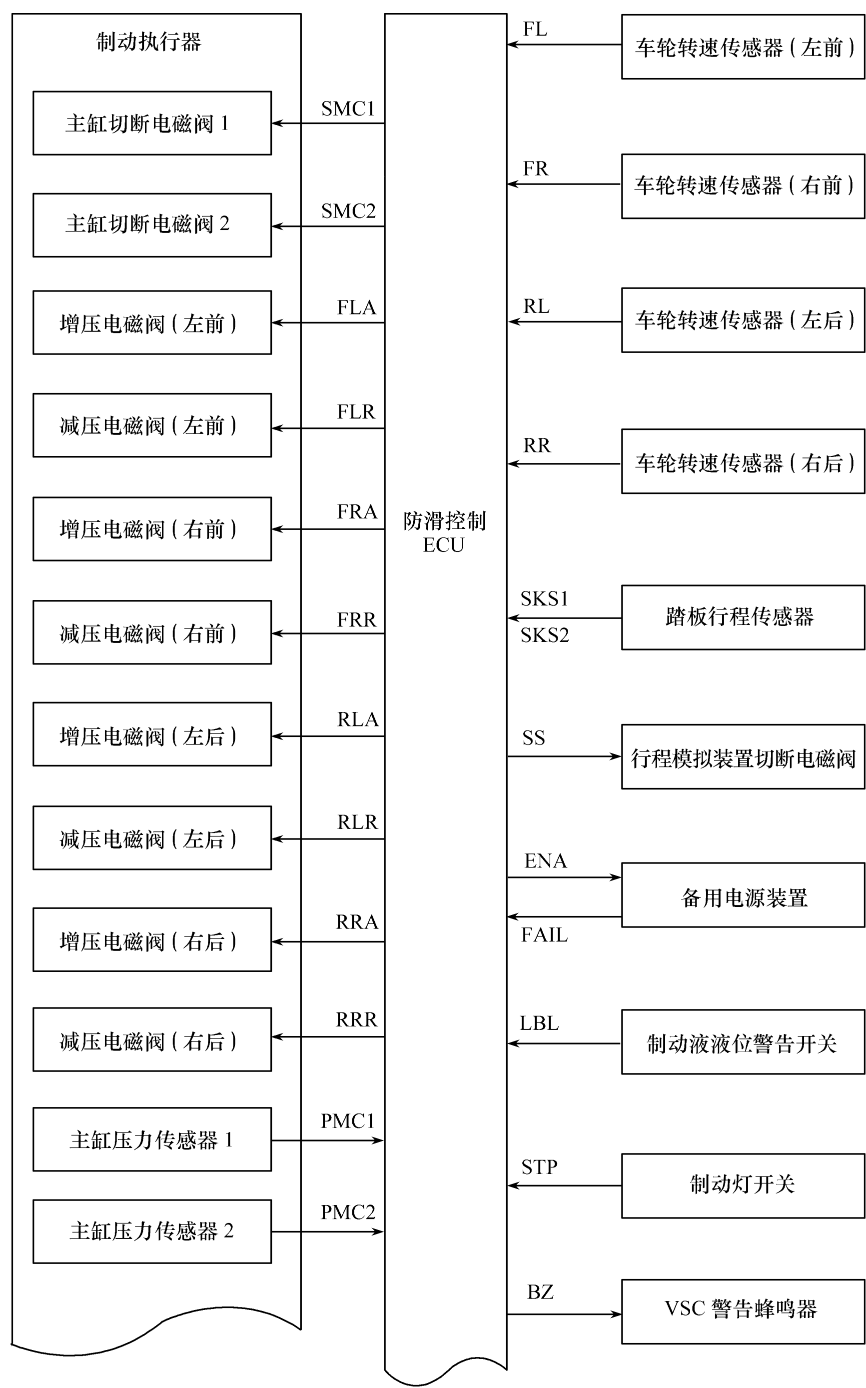
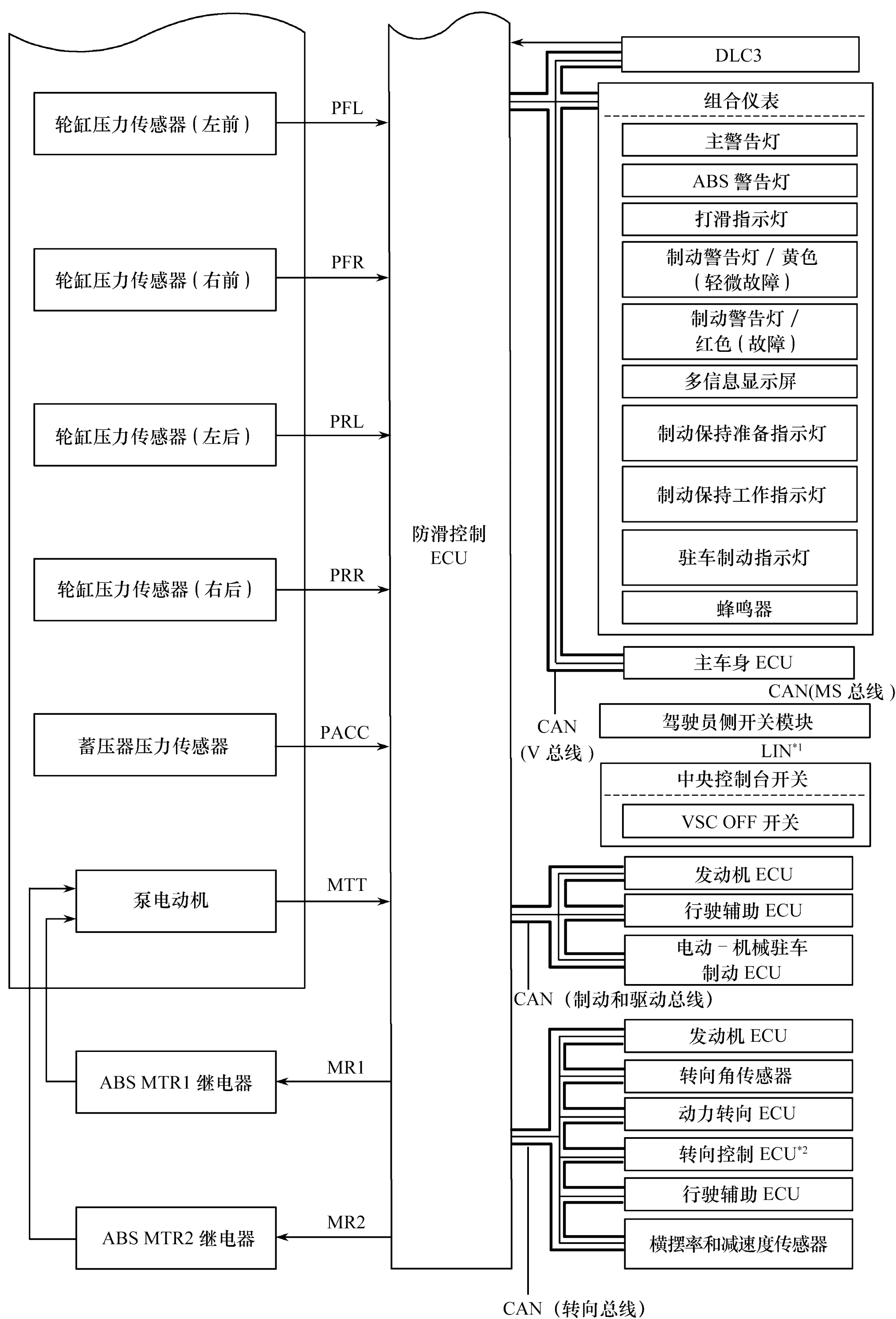


图 2-113　丰田 ECB 电控系统的组成框图 1



*1: 局域互联网

*2: 带 VGRS 系统的车型

图 2-114 丰田 ECB 电控系统的组成框图 2

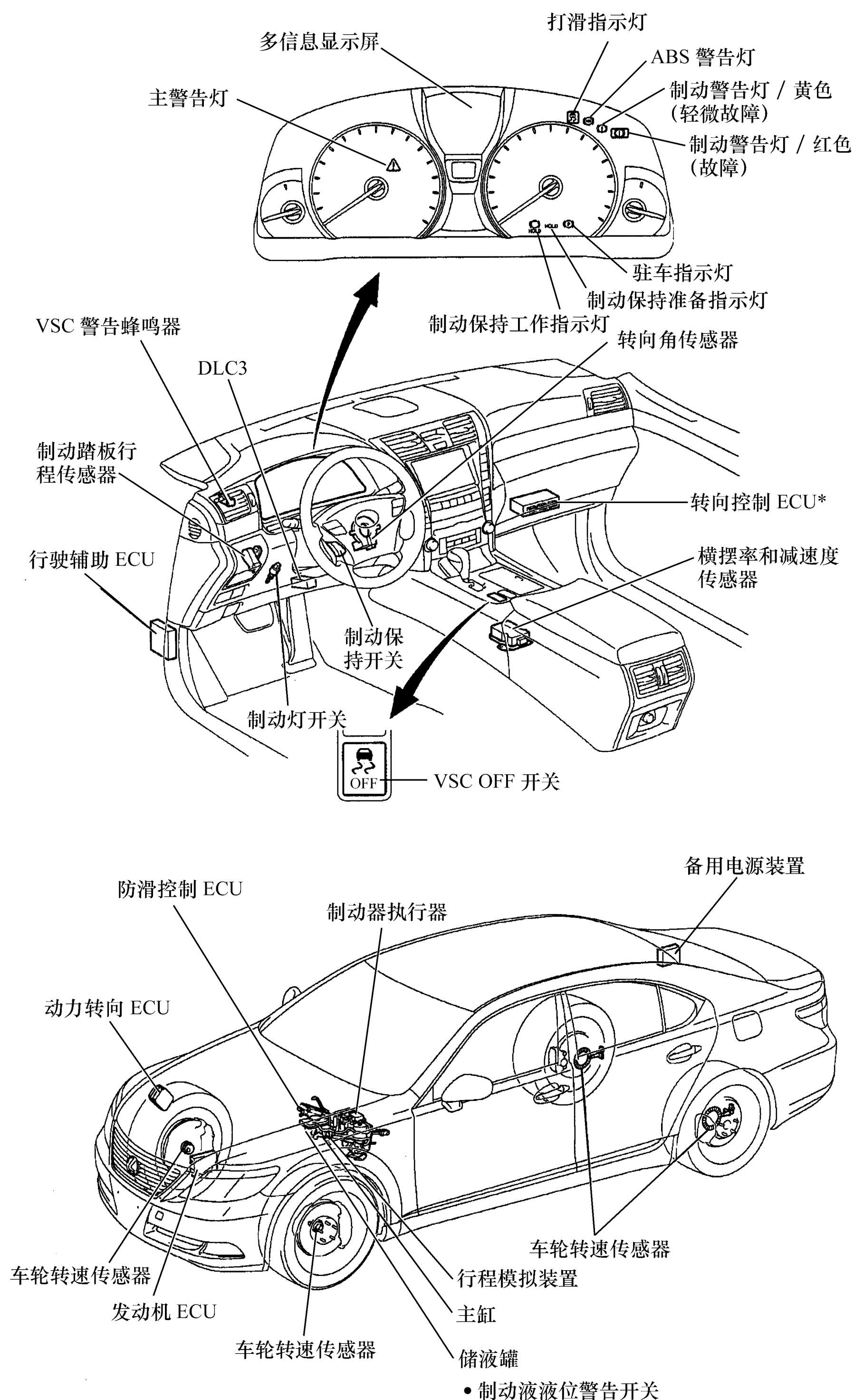


图 2-115　LEXUS LS460 ECB 系统主要部件位置分布

（3）系统主要部件的功能　制动控制系统的主要部件的功能如表 2-1 所示。

表 2-1　制动控制系统主要部件的功能

<table>
<tr><th colspan="2">组　件</th><th>功　能</th></tr>
<tr><td rowspan="2">制动执行器</td><td>液压源部分</td><td>（1）由泵、泵电动机和蓄压器组成，可产生并储存防滑控制 ECU 用于制动控制的液压
（2）制动执行器内安装有蓄压器压力传感器和溢流阀</td></tr>
<tr><td>液压控制部分</td><td>（1）由 2 个主缸切断电磁阀、4 个增压电磁阀和 4 个减压电磁阀组成
（2）2 个双位置型主缸切断电磁阀由防滑控制 ECU 控制以打开和关闭主缸和轮缸间的通道
（3）4 个增压电磁阀和 4 个减压电磁阀均为线性，并由防滑控制 ECU 控制以增大和减小轮缸的液压
（4）制动执行器内安装有主缸压力传感器和轮缸压力传感器</td></tr>
<tr><td colspan="2">防滑控制 ECU</td><td>根据来自传感器的信号监视车辆的行驶状况，并通过与发动机 ECU、动力转向 ECU、转向控制 ECU 和 ECT ECU 的协调控制来计算所需的制动力，并控制制动执行器</td></tr>
<tr><td colspan="2">制动主缸</td><td>根据驾驶员对制动踏板施加的力来产生液压
液压动力部分发生故障时，制动主缸将液压（由制动踏板压力产生）直接加到轮缸</td></tr>
<tr><td colspan="2">制动踏板行程传感器</td><td>直接检测驾驶员控制的制动踏板行程的范围</td></tr>
<tr><td colspan="2">行程模拟装置</td><td>（1）制动时根据驾驶员对踏板施加的力产生踏板行程
（2）其上装有行程模拟装置切断阀，在 ECB 工作时，使主缸产生的液压传入行程模拟装置</td></tr>
<tr><td rowspan="8">组合仪表</td><td>多信息显示屏和主警告灯</td><td>通过在组合仪表的多信息显示屏上显示信息并使主警告灯闪烁的方式来提示驾驶员 VSC 功能出现故障</td></tr>
<tr><td>ABS 警告灯</td><td>点亮以告知驾驶员 ABS 功能、EBD 功能或助力制动功能发生故障</td></tr>
<tr><td>打滑指示灯</td><td>闪烁以提示驾驶员 ABS 功能、VSC 功能或 TRAC 功能运行</td></tr>
<tr><td>制动警告灯/黄色</td><td>点亮以告知驾驶员制动系统发生轻微故障，但并不影响制动力</td></tr>
<tr><td>制动警告灯/红色</td><td>点亮以告知驾驶员防滑控制 ECU 检测到制动分配故障</td></tr>
<tr><td>制动保持准备指示灯</td><td>点亮以提示驾驶员制动保持准备条件已满足
如果制动保持功能不起作用，则将闪烁以告知驾驶员</td></tr>
<tr><td>制动保持工作指示灯</td><td>点亮以告知驾驶员制动保持功能正在工作</td></tr>
<tr><td>驻车制动指示灯</td><td>点亮以告知驾驶员电动－机械驻车制动正在工作
如果电动－机械驻车制动不起作用，则将闪烁以告知驾驶员</td></tr>
<tr><td colspan="2">VSC 警告蜂鸣器</td><td>持续鸣响以提示驾驶员液压或液压动力部分故障
间歇鸣响以提示驾驶员车辆打滑</td></tr>
<tr><td colspan="2">发动机 ECU</td><td>将节气门位置信号、加速踏板位置信号、发动机转速信号和挡位信号发送至防滑控制 ECU
接收来自防滑控制 ECU 的节气门控制请求信号</td></tr>
<tr><td colspan="2">VSC OFF 开关</td><td>按下开关时，关闭 TRC 并点亮组合仪表内的打滑指示灯
按住开关时，关闭 VSC 并在多信息显示屏上显示“VSC OFF”警告信息</td></tr>
<tr><td colspan="2">储液罐</td><td>存储制动液
其上装有制动液液位警告开关，用以检测制动液液位</td></tr>
</table>

（续）

组　件	功　能
制动灯开关	检测制动踏板踩下信号
横摆率和减速度传感器	（1）检测车辆的横摆率 （2）检测车辆的向前、向后和横向加速度
转向角传感器	检测转向盘的转向和角度
车轮转速传感器	检测 4 个车轮的转速
ABS MTR1 继电器和 ABS MTR2 继电器	（1）均为泵电动机继电器，通过这两个继电器，泵执行两种不同的转速 （2）如果其中一个继电器出现故障，则另外一个工作
备用电源装置	（1）向制动系统提供稳定电压的辅助电源 （2）蓄电池电压低时，为制动系统供电

（4）主要部件的结构和工作原理

1）制动执行器

① 制动执行器的组成及主要部件的功能

a. 制动执行器的组成。图 2-116 为制动执行器的外形图，它由液压控制部分和液压源部分组成。

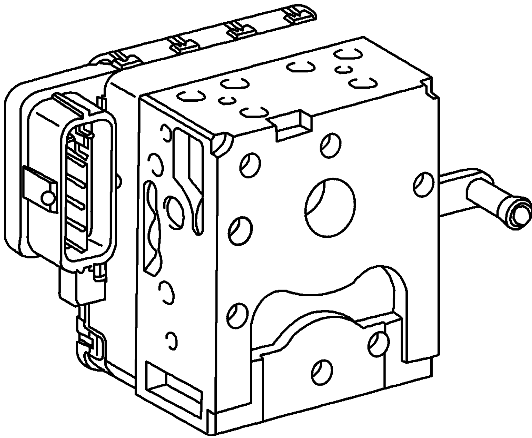


图 2-116　ECB 系统制动执行器

2 个主缸压力传感器、4 个轮缸压力传感器和 1 个蓄压器压力传感器共 7 个压力传感器内置于制动执行器。制动执行器内包括 10 个电磁阀，即 2 个主缸切断电磁阀、4 个增压阀和 4 个减压阀。

b. 制动执行器主要部件的功能。制动执行器主要部件的功能见表 2-2。

表 2-2　制动执行器主要部件的功能

部　件	功　能
主缸切断电磁阀（双位置型）	制动系统启动时，此电磁阀切断主缸与轮缸间的液压通道 制动系统停止或液压源部分出现故障时，此电磁阀打开以保持对前轮缸的液压并确保制动，但需要用比平时更大的力踩下制动踏板
增压电磁阀（线性）	由防滑控制 ECU 控制的增压电磁阀调节来自蓄压器的液压以增大至轮缸的液压
减压电磁阀（线性）	由防滑控制 ECU 控制的减压电磁阀调节液压以减小至轮缸的液压
主缸压力传感器	主缸压力传感器将主缸产生的液压转换成电信号并将其发送至防滑控制 ECU，防滑控制 ECU 根据此信号判断驾驶员所需的制动力
轮缸压力传感器	这些传感器可检测作用于相应轮缸的液压并将其反馈到防滑控制 ECU，防滑控制 ECU 监视轮缸的液压并控制增压电磁阀和减压电磁阀以实现最佳轮缸压力
溢流阀	如果泵因蓄压器压力传感器故障而持续运行，则溢流阀使制动液回流到储液罐以防压力过大

② 液压控制部分。液压回路如图 2-117 所示。

10 个电磁阀和 7 个压力传感器由下列部件组成：2 个主缸切断电磁阀 1、2，4 个增压阀 3、4、5、6，4 个减压阀 7、8、9、10，2 个主缸压力传感器 a、b，4 个轮缸压力传感器 c、d、e、f，1 个蓄压器压力传感器 g。

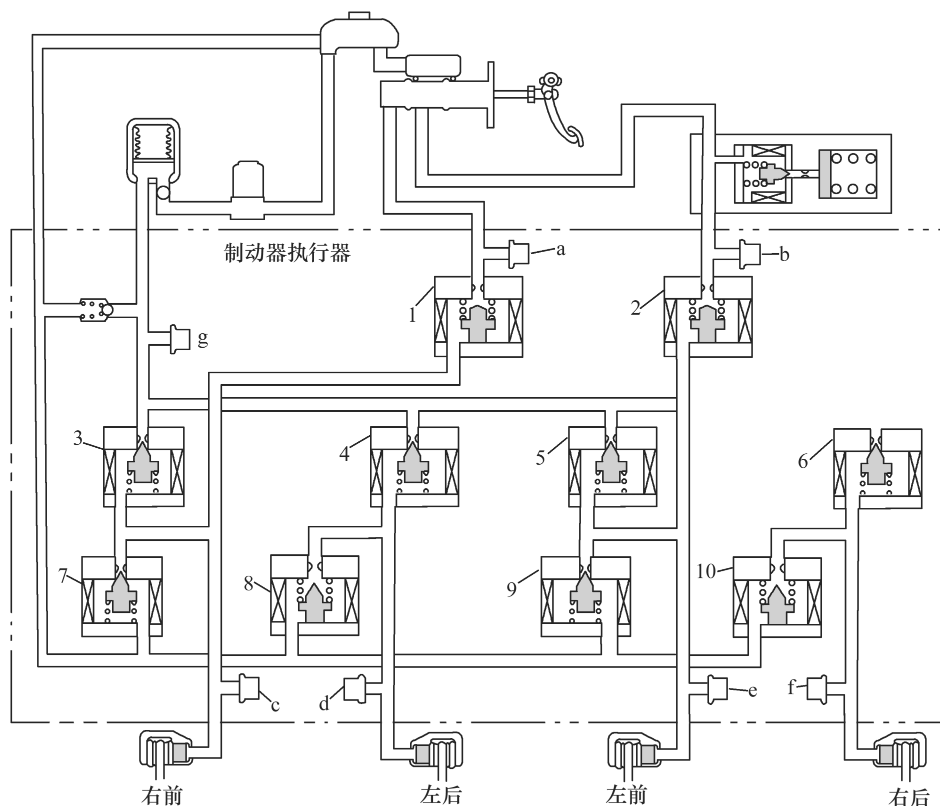


图 2-117 ECB 系统液压回路

1、2—主缸切断电磁阀 3、4、5、6—增压阀 7、8、9、10—减压阀 a、b—主缸压力传感器 c、d、e、f—轮缸压力传感器 g—蓄压器压力传感器

③ 液压源部分。液压源部分由泵、泵电动机、蓄压器、溢流阀、2 个电动机继电器和蓄压器压力传感器组成。

a. 蓄压器。蓄压器内充满并密封有高压氮气。此外，还采用了金属波纹管以增强蓄压器的气密性，如图 2-118 所示。

b. 泵和泵电动机。采用柱塞式泵。泵由电动机驱动凸轮轴转动而工作，并向蓄压器提供高压液体。泵和泵电动机的结构如图 2-119 所示。

c. 工作原理。由泵排放的制动液通过单向阀进入并存储在蓄压器内。存储在蓄压器内的液压用来为制动控制供压。

ABS MTR1 继电器和 ABS MTR2 继电器是 ABS 泵电动机转速控制继电器，ABS MTR1 继电器为 ABS 泵电动机低速控制继电器，ABS MTR2 为 ABS 泵电动机高速控制继电器。通常使用 ABS MTR1 继电器。因所需液压较大而使其快速降低时（如 ABS 液压控制），才使用 ABS MTR2 继电器。如果其中一个继电器出现故障，则另外一个工作。

蓄压器压力传感器持续监视蓄压器内的压力并将其传输到防滑控制 ECU。如果蓄压器

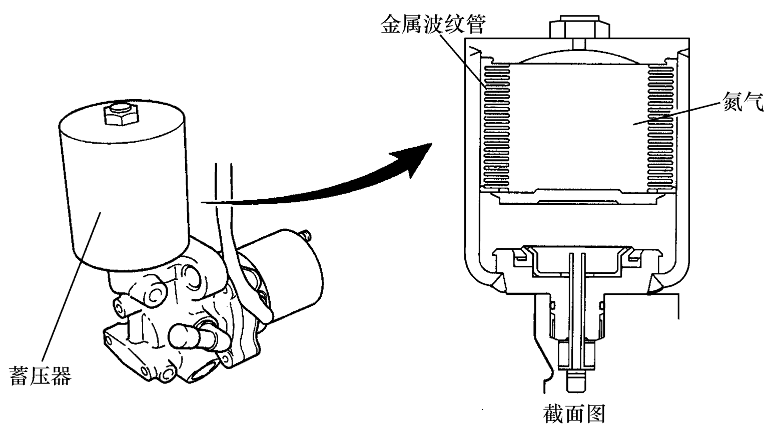


图 2-118　ECB 系统的蓄压器

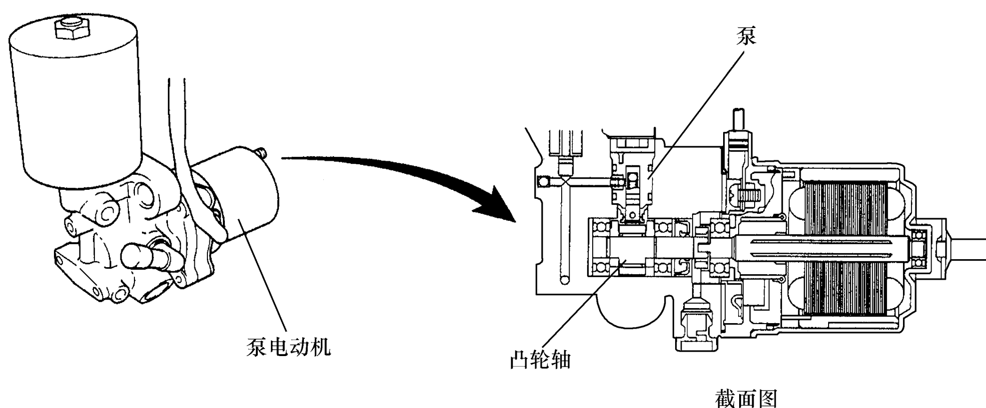


图 2-119　ECB 系统的液压泵和液压泵电动机

压力降至设定压力以下，则防滑控制 ECU 将激活信号发送至电动机继电器以激活泵电动机，直到蓄压器压力达到设定压力，如图 2-120 所示。

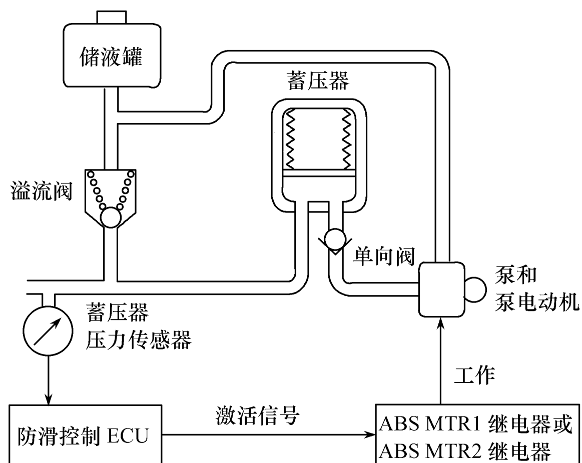


图 2-120　液压泵和液压泵电动机正常工作直至蓄压器压力达到设定压力

如果泵和泵电动机持续工作且蓄压器传感器出现故障，则蓄压器内会产生高压。此时，溢流阀将打开使制动液回流至储液罐以降低蓄压器压力，如图 2-121 所示。

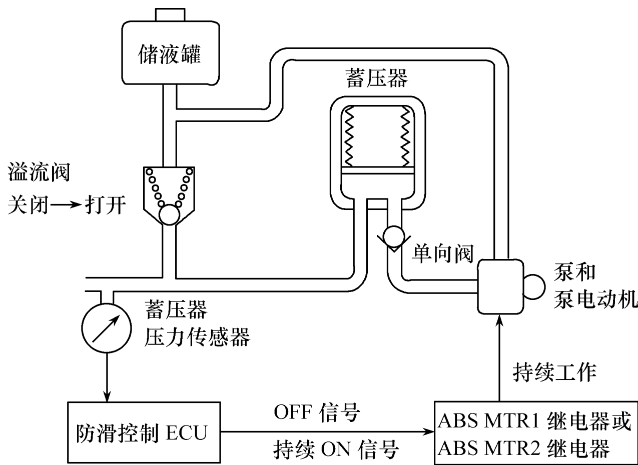


图 2-121 蓄压器压力过高时溢流阀打开

如果蓄压器压力降至 ECU 设定压力以下，则防滑控制 ECU 将点亮制动警告灯/红色（故障）、制动警告灯/黄色（轻微故障）、ABS 警告灯和主警告灯。然后，组合仪表的多信息显示屏上显示警告信息，且 VSC 警告蜂鸣器鸣响以告知驾驶员液压异常，如图 2-122 所示。

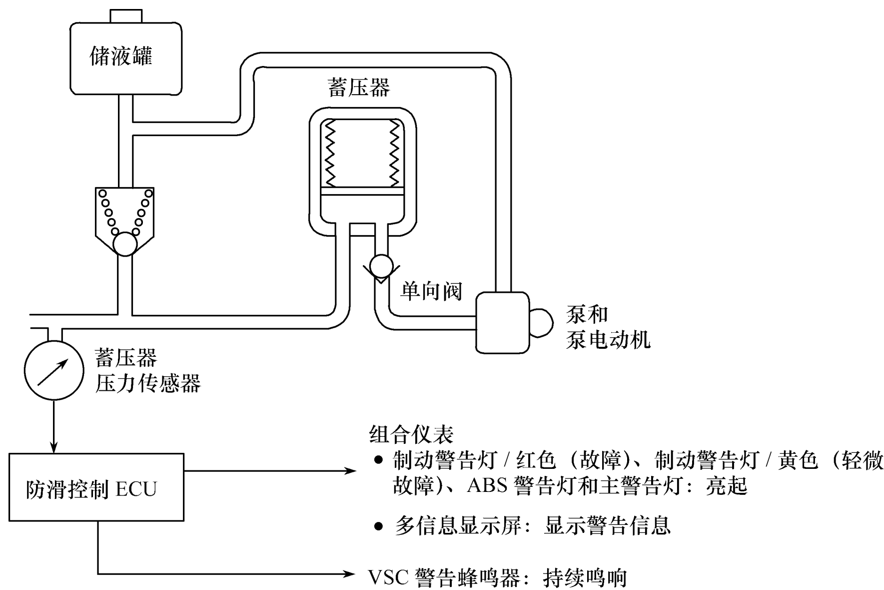


图 2-122 蓄压器压力一直过低时，防滑控制 ECU 发出报警信息

2）制动踏板行程传感器。此传感器带有接触型可变电阻器，可检测制动踏板行程的范围并将其传输到防滑控制 ECU。制动踏板行程传感器的外形及结构如图 2-123 所示。制动踏板行程传感器的电路及输出特性如图 2-124、图 2-125 所示。

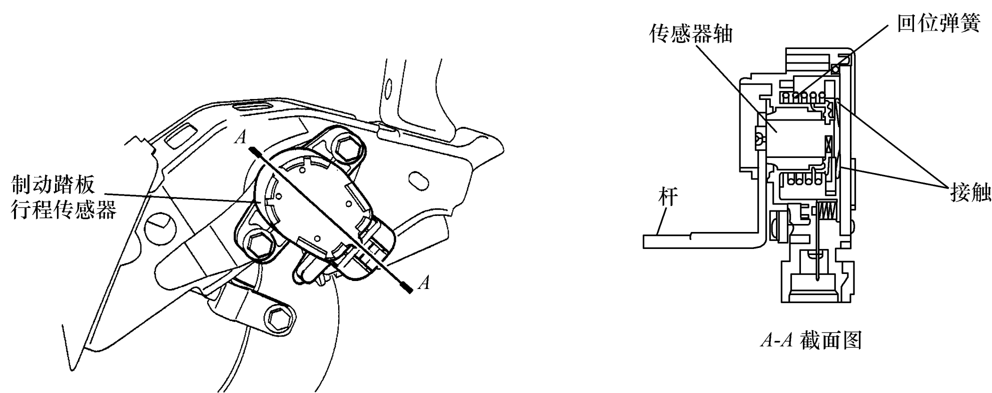


图 2-123　制动踏板行程传感器的外形及结构

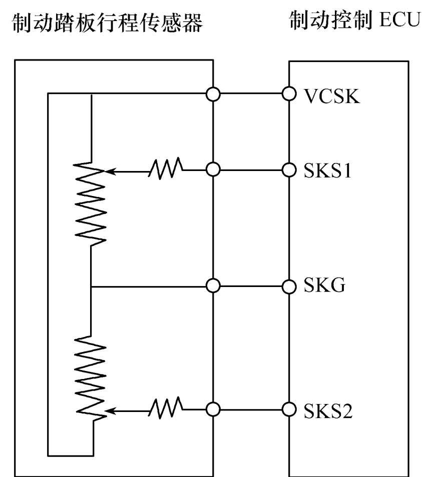


图 2-124　制动踏板行程传感器的电路

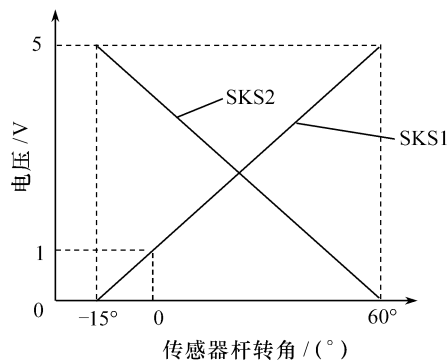


图 2-125　制动踏板行程传感器的输出特性

安装制动踏板行程传感器（作维修备件用）时，遵守下列步骤：

用锁销将传感器杆紧固至“0”行程（安装完成后再脱开锁销）。

此时，将传感器安装到制动踏板（OFF 时）上。

安装完成后，用力踩下制动踏板一次以脱开（折断）使传感器固定就位的锁销。确保脱开的锁销不会留在传感器杆内。

更换制动踏板行程传感器后，需对防滑控制 ECU 侧的制动踏板行程传感器进行初始化。

3）行程模拟装置。行程模拟装置位于主缸和制动执行器之间，主缸产生的液压通过内置的行程模拟装置切断阀传到行程模拟装置，其结构如图 2-126 所示。

制动时，行程模拟装置根据驾驶员对踏板施加的力产生踏板行程。行程模拟装置带有两种弹簧常数不同的螺旋弹簧，并具有与主缸压力相关的 2 个阶段的踏板行程特征。

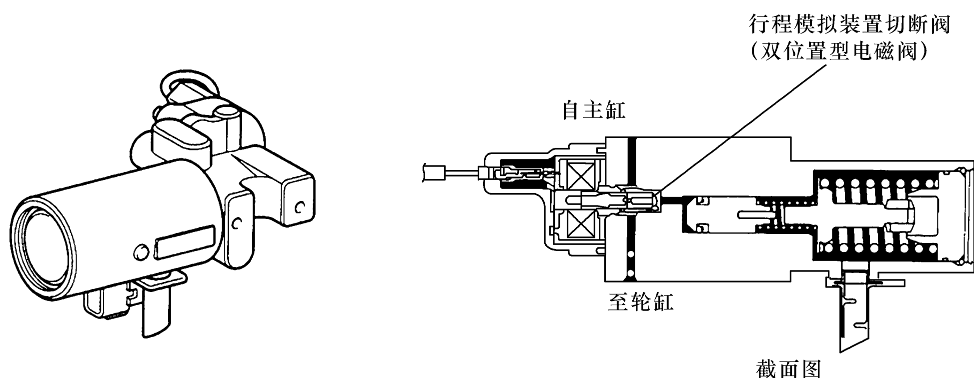


图 2-126　制动行程模拟装置的结构

4）横摆率和减速度传感器。减速度传感器内置于横摆率传感器上，如图 2-127 所示。此传感器检测横摆率及横向和纵向加速度，并将信号发送至防滑控制 ECU。

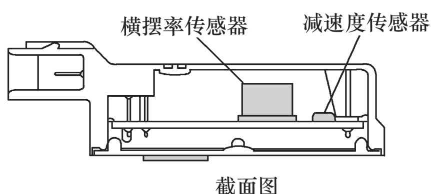


图 2-127　横摆率和减速度传感器

维修提示：

更换横摆率和减速度传感器或防滑控制 ECU 后，需对横摆率和减速度传感器进行初始化。

5）车轮转速传感器。采用了主动式车轮转速传感器，其在车上的安装位置如图 2-128 所示。

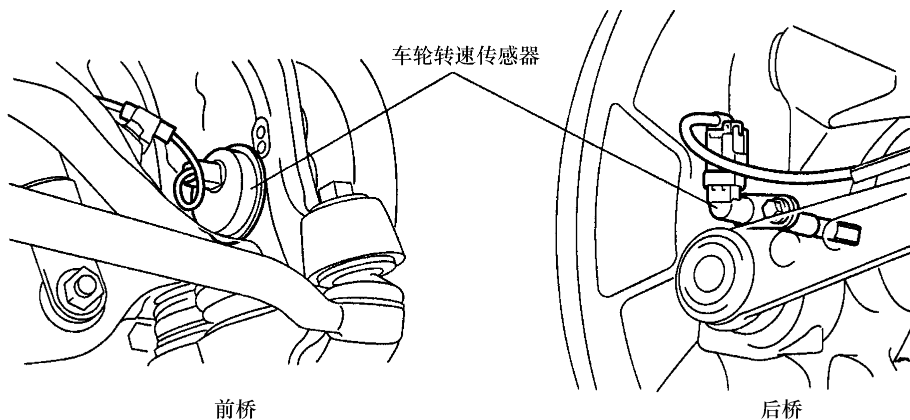


图 2-128　主动式车轮转速传感器在车上的安装位置

传感器转子由呈环形分布的 N 和 S 磁极组成，如图 2-129 所示，并与轮毂轴承内座圈集成一体。

车轮转速传感器头由包含 2 个 MRE（磁阻元件）的传感器集成电路组成，如图 2-130 所示。

随着传感器转子的转动，N 和 S 磁极交替通过车轮转速传感器的检测部分附近。车轮转速传感器根据磁通量的变化情况输出电流。防滑控制 ECU 检测输出电流的变化以判断轮速。其工作原理与输出信号如图 2-131、图 2-132 所示。

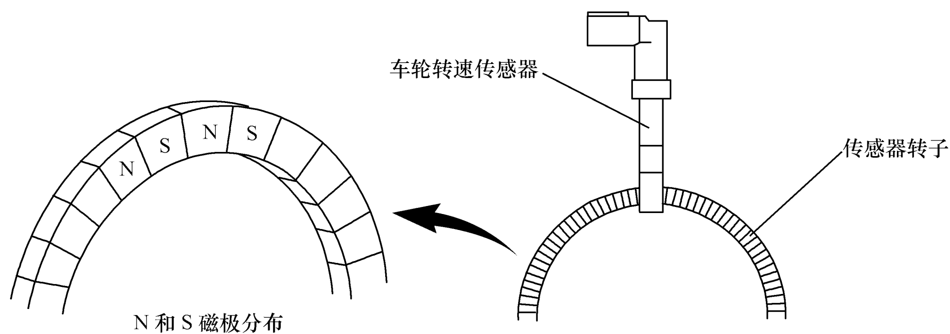


图 2-129　车轮转速传感器转子的组成

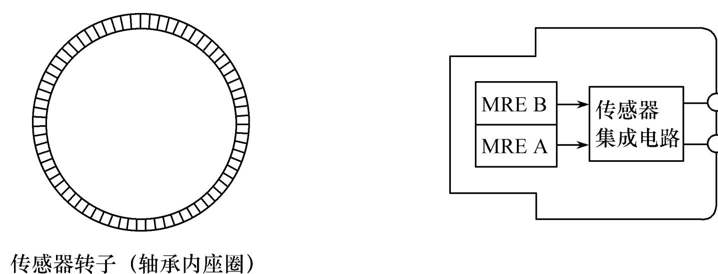


图 2-130　车轮转速传感器头的组成图示

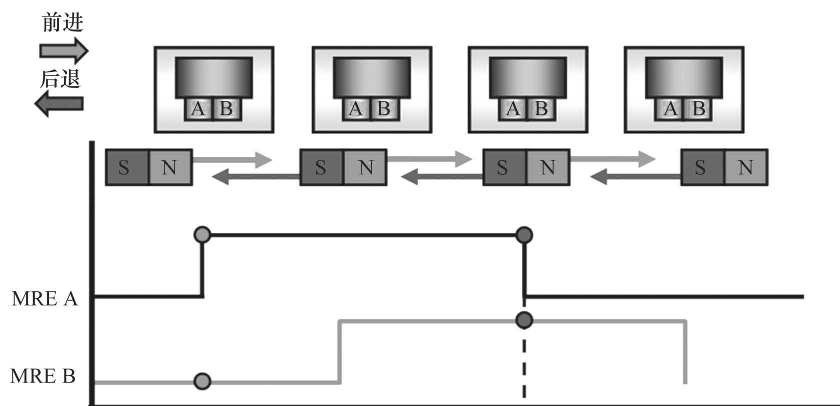


图 2-131　车轮转速传感器的工作原理

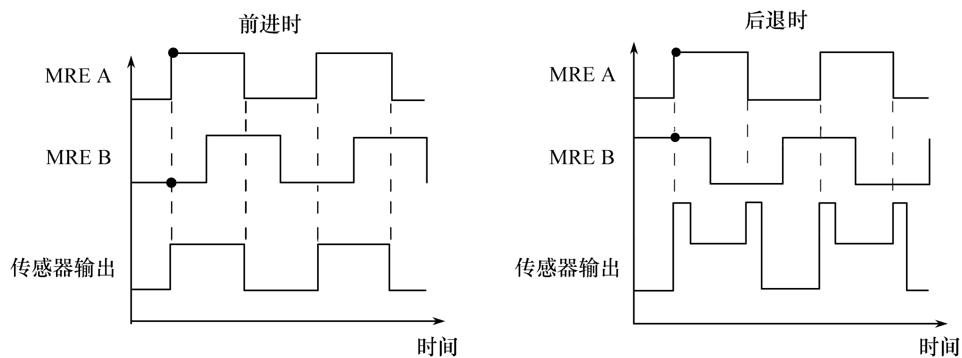


图 2-132　汽车前进和后退时车轮转速传感器输出的信号波形比较

6）备用电源装置。备用电源装置作为辅助电源为制动系统提供稳定电压。

如图 2-133 所示，此装置包括 12 个电容器单格，用来存储车辆电源（12V）的电荷。车辆电源电压（12V）降低时电容器单格内存储的电荷可作为辅助电源为制动系统供电。

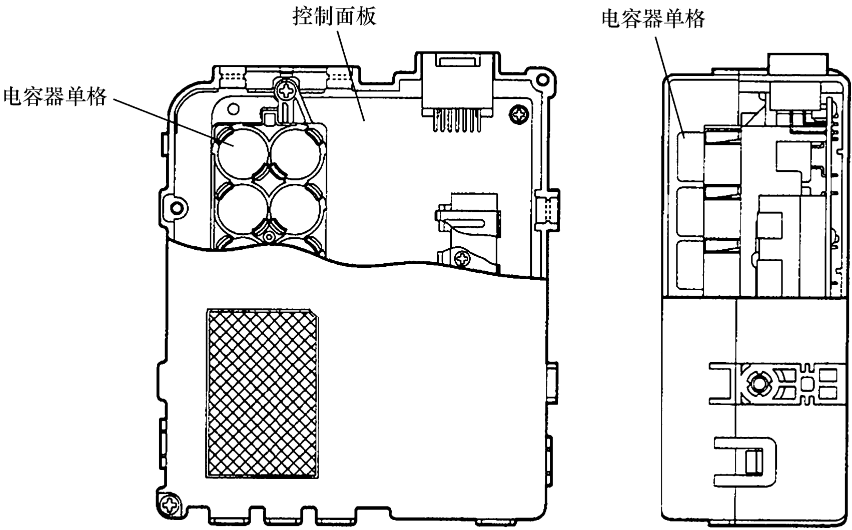


图 2-133 ECB 系统的备用电源装置

维修提示：

点火开关置于 OFF 后，此装置短时间内仍放电且电容器内有部分余压。因此，从车辆上拆下备用电源装置或打开并检查备用电源装置壳内部前，如有必要，须确保检查余压和放电情况。

7）组合仪表。防滑控制 ECU 根据 ECB（电子控制制动系统）的状况在多信息显示屏上显示警告信息，见表 2-3。

表 2-3 警告信息

警告信息	详 情	警告灯	蜂鸣器
BrakeMalfunction	制动系统故障	制动警告灯/红色	鸣响
Check Brake System	轻微故障	制动警告灯/黄色	鸣响
Check ABS	ABS 故障	ABS 警告灯	鸣响
Check VSC System	TRC 和 VSC 故障进行主动测试	主警告灯	鸣响
VSC TEST	VSC 测试模式激活	主警告灯（闪烁）	
VSC OFF	VSC 关闭	主警告灯	
Depress the brake pedal	制动保持功能激活时出现故障	主警告灯	鸣响
Check Brake Hold System	制动保持功能激活或处于准备模式时，发动机控制系统、变速器控制系统、电动一机械驻车制动或 ECB 出现故障	主警告灯	鸣响

（续）

警告信息	详　情	警告灯	蜂鸣器
Be careful using Brake Hold icy roads!	车外温度低于3℃（37.4℉）且按下制动保持开关	—	—
Depress the brake pedal to activate the switch	制动保持功能激活时，驾驶员未踩下制动踏板而按下制动保持开关	主警告灯（闪烁）	鸣响
Brake Hold not available on sloop	在坡道上驻车	主警告灯（闪烁）	鸣响
Close the door to activate the switch	驾驶员门打开时按下制动保持开关	—	—
Fasten the seat belt to activate the switch	驾驶员座椅安全带未系紧时按下制动保持开关	—	—
Close the hood or the trunk	发动机室盖或行李箱盖打开时按下制动保持开关	—	—

（5）系统工作原理

1）正常制动的工作原理。正常制动期间，主缸切断电磁阀关闭且至轮缸的液压回路保持独立。这样，主缸产生的液压不会直接使轮缸工作，而是由防滑控制 ECU 控制制动执行器使蓄压器中的液压加到轮缸上。因此，在正常制动过程中也存在着增压、保持、减压控制功能，当电控制动系统停止工作或电源故障时，系统具备失效保护功能从而保证前轮的基本制动功能。

正常制动时的系统输入输出图如图 2-134 所示。

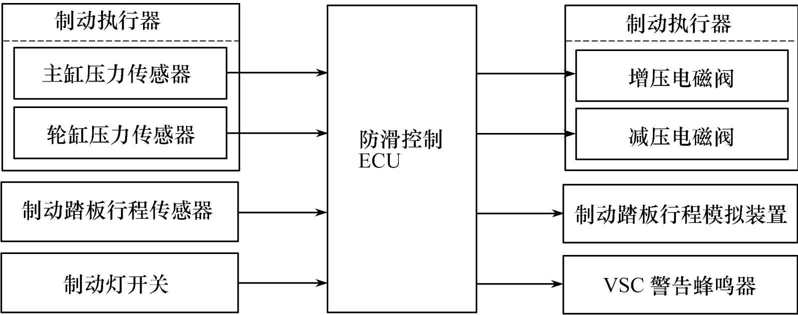


图 2-134　正常制动时的电控系统输入与输出

a. 正常制动增压模式。防滑控制 ECU 根据主缸压力传感器和制动踏板行程传感器发出的信号计算目标轮缸压力（等于驾驶员所需的制动力）。防滑控制 ECU 将轮缸压力信号与目标轮缸压力进行比较。如果轮缸压力较低，则防滑控制 ECU 使制动执行器增压。因此，蓄压器中的液压加到轮缸上。正常制动增压模式时液压回路示意图如图 2-135 所示。

正常制动增压模式时，各电磁阀的工作状态见表 2-4。常开的两主缸切断电磁阀 1、2 通电而处于关闭状态，即图中的孔 A、B 关闭；接至前轮制动轮缸的两减压电磁阀 7、9 断电而处于关闭状态，接至后轮制动轮缸的两减压电磁阀 8、10 通电而处于关闭状态，也就是说四个减压电磁阀均关闭，即图中的孔 G、I、H、J 均处于关闭状态；行程模拟装置切断电磁

图 2-135　正常制动增压模式时液压回路示意图

11—行程模拟装置切断电磁阀　其他图注同图 2-117

阀 11 通电打开孔 K；四个增压电磁阀 3、4、5、6 根据使用情况分别持续调整孔 C、D、E、F 的开度，以控制液压。

表 2-4　正常制动增压时各电磁阀的工作状态

项　　目		正常制动增压模式
1、2	主缸切断电磁阀	ON（关闭）
	孔：A、B	
3，4，5，6	增压电磁阀	ON（半开*）
	孔：C、D、E、F	
7，9	减压电磁阀	OFF（关闭）
	孔：G、I	
8，10	减压电磁阀	ON（关闭）
	孔：H、J	
11	行程模拟装置切断电磁阀	ON（打开）
	孔：K	

ON 表示通电，OFF 表示断电。

*：电磁阀根据使用情况持续调整孔的开度，以控制液压。

b. 正常制动保持模式。防滑控制 ECU 根据主缸压力传感器和制动踏板行程传感器发出

的信号计算目标轮缸压力（等于驾驶员所需的制动力）。

防滑控制 ECU 将轮缸压力信号与目标轮缸压力进行比较。如果二者相等，则防滑控制 ECU 使制动执行器处于保持状态。

因此，轮缸将保持恒压。

正常制动保持模式时液压回路示意图如图 2-136 所示。

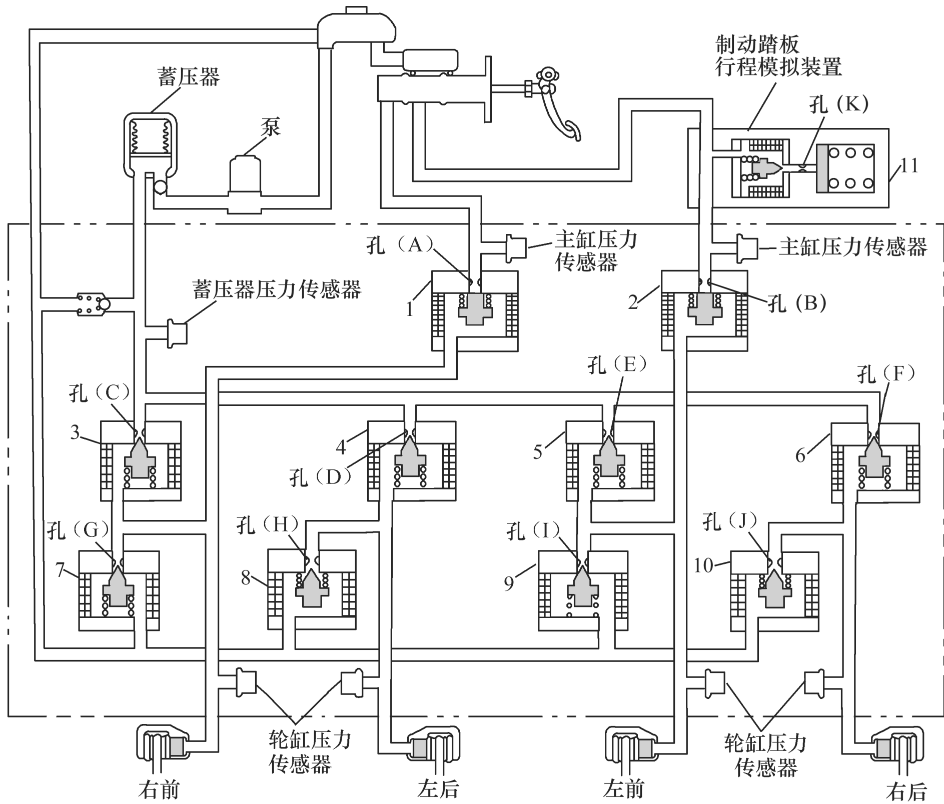


图 2-136　正常制动保持模式时液压回路示意图

图注同图 2-135

正常制动保持模式时，各电磁阀的工作状态见表 2-5。

表 2-5　正常制动保持模式时各电磁阀的工作状态

项　　目		正常制动保持模式
1、2	主缸切断电磁阀	ON（关闭）
	孔：A、B	
3，4，5，6	增压电磁阀	OFF（关闭）
	孔：C、D、E、F	
7，9	减压电磁阀	OFF（关闭）
	孔：G、I	
8，10	减压电磁阀	ON（关闭）
	孔：H、J	
11	行程模拟装置切断电磁阀	ON（打开）
	孔：K	

ON 表示通电，OFF 表示断电。

c. 正常制动减压模式。防滑控制 ECU 根据主缸压力传感器和制动踏板行程传感器发出的信号计算目标轮缸压力（等于驾驶员所需的制动力）。

防滑控制 ECU 将轮缸压力信号与目标轮缸压力进行比较。如果轮缸压力较高，则防滑控制 ECU 使制动执行器减压，轮缸压力减小。

正常制动减压模式时液压回路示意图如图 2-137 所示。

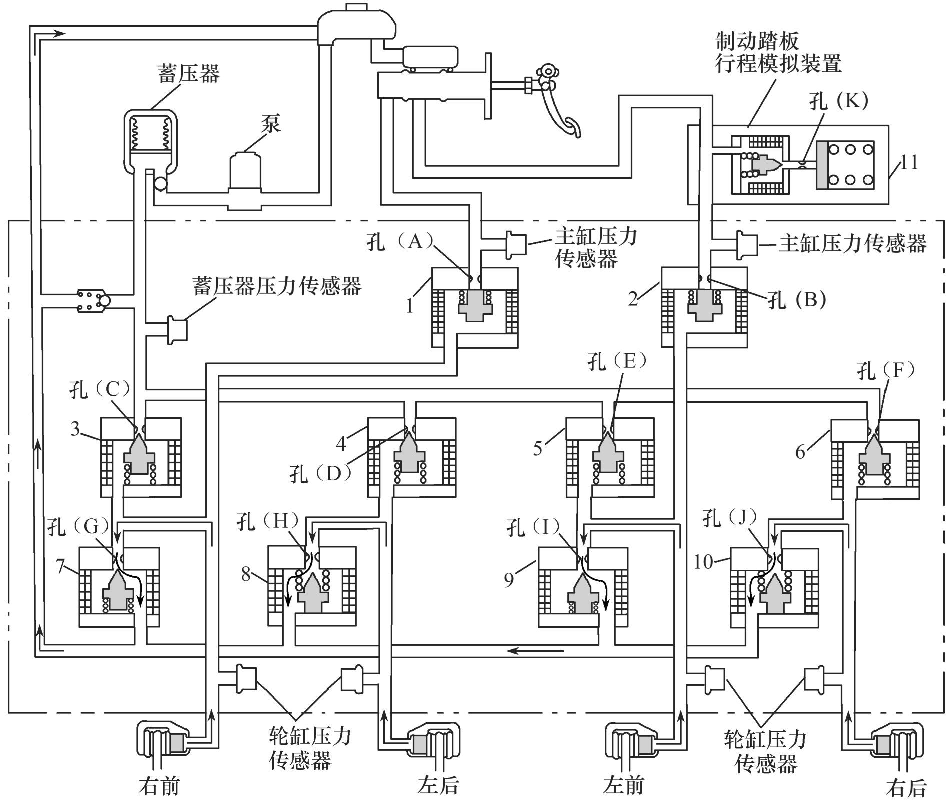


图 2-137 正常制动减压模式时液压回路示意图

图注同图 2-135

正常制动减压模式时，各电磁阀的工作状态见表 2-6。

表 2-6 正常制动减压模式时各电磁阀的工作状态

项 目		正常制动减压模式
1、2	主缸切断电磁阀	ON（关闭）
	孔：A、B	
3，4，5，6	增压电磁阀	OFF（关闭）
	孔：C、D、E、F	
7，9	减压电磁阀	ON（半开*）
	孔：G、I	
8，10	减压电磁阀	ON（半开*）
	孔：H、J	
11	行程模拟装置切断电磁阀	ON（打开）
	孔：K	

ON 表示通电，OFF 表示断电。

＊：电磁阀根据使用情况持续调整孔的开度，以控制液压。

d. 制动系统停止工作或电源故障时。如果制动系统停止工作或因故障无法施加蓄压器压力，则防滑控制 ECU 使失效保护功能起作用，此功能使制动执行器内的主缸电磁阀打开，以确保液体能从主缸流向轮缸。可通过在主缸产生的液压，仅操作前轮缸的方法来施加制动。此时，行程模拟装置切断电磁阀孔 K 关闭，以防止主缸产生的液压受行程模拟装置运行的不良影响。

制动系统停止工作或电源故障时的制动液压回路示意图如图 2-138 所示。

图 2-138　制动系统停止工作或电源故障时的制动液压回路示意图

图注同 2-135

制动系统停止工作或电源故障时，各电磁阀均处于断电状态，见表 2-7。

表 2-7　停止工作或电源故障时各电磁阀的工作状态

项　　目		停止工作或电源故障
1、2	主缸切断电磁阀	OFF（打开）
	孔：A、B	
3，4，5，6	增压电磁阀	OFF（关闭）
	孔：C、D、E、F	
7，9	减压电磁阀	OFF（关闭）
	孔：G、I	

（续）

项目		停止工作或电源故障
8，10	减压电磁阀	OFF（打开）
	孔：H、J	
11	行程模拟装置切断电磁阀	OFF（关闭）
	孔：K	

ON 表示通电，OFF 表示断电。

2）带 EBD 的 ABS 的工作原理。防滑控制 ECU 根据 4 个车轮转速传感器发出的信号计算各车轮转速和减速度并检查车轮打滑情况。根据打滑情况，防滑控制 ECU 控制增压阀和减压阀以下列 3 种模式调节各轮缸的液压：减压、压力保持和增压模式。

带 EBD 的 ABS 的系统工作示意图如图 2-139 所示。

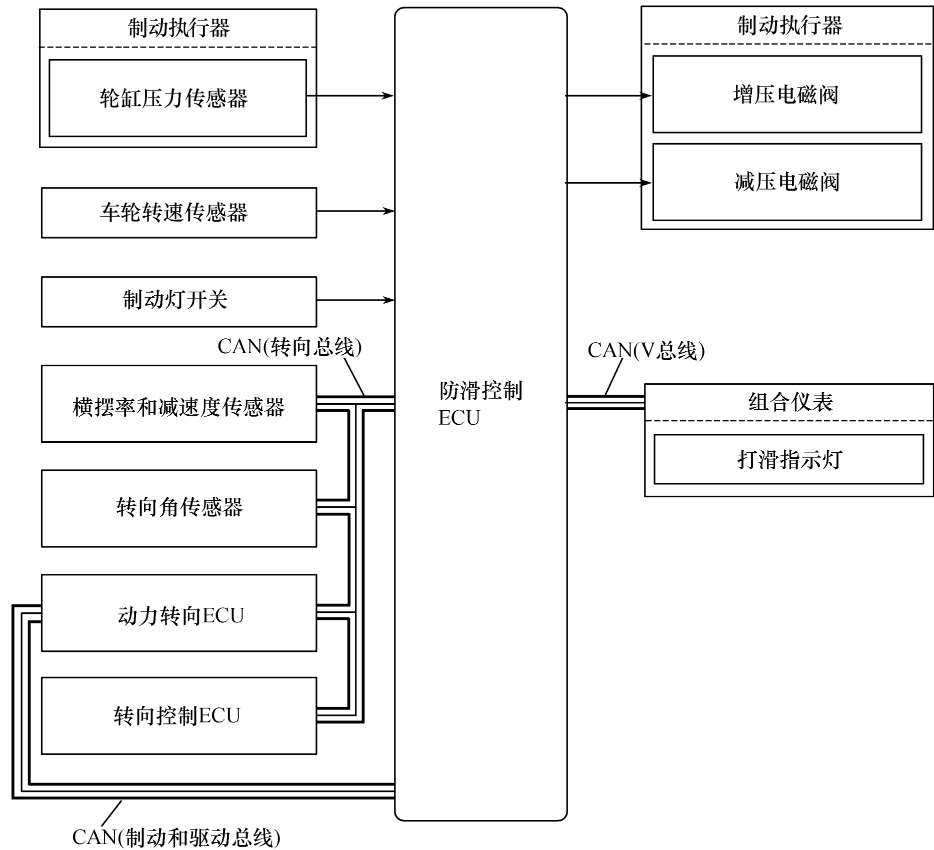


图 2-139 带 EBD 的 ABS 的系统工作示意图

在 ABS 增压模式时，与正常制动的增压模式相似，增压电磁阀根据使用情况持续调整阀孔的开度，减压电磁阀关闭，制动轮缸的压力增大。

当处于 ABS 保持模式时，增压电磁阀与减压电磁阀均关闭，制动轮缸的压力保持不变。

当处于 ABS 减压模式时，增压电磁阀关闭，减压电磁阀由防滑控制 ECU 控制调整阀孔口的开度，制动轮缸的压力降低。

3）助力制动的工作原理。紧急制动时，防滑控制 ECU 根据由压力传感器信号决定的主缸增压的速度来判定驾驶员的操作目的。如果 ECU 判定车辆需要额外的助力制动，则执行器的泵产生附加液压并将其传输至轮缸。

紧急助力制动时的系统工作示意图如图 2-140 所示。

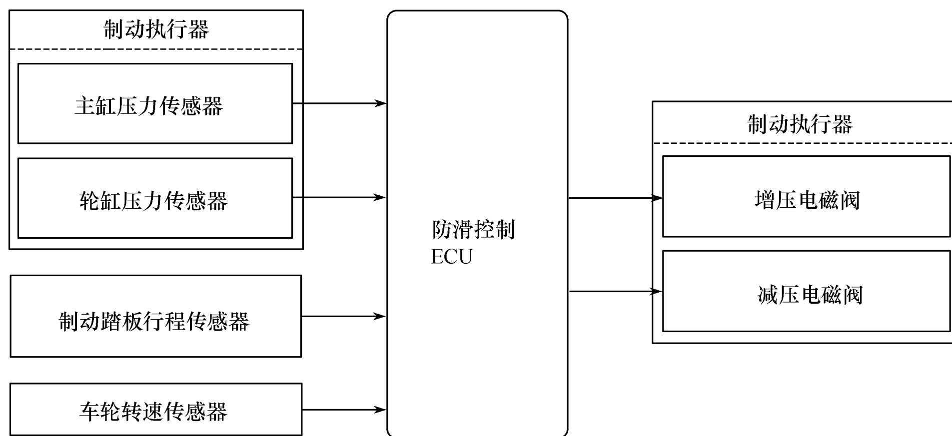


图 2-140　紧急助力制动时的系统工作示意图

紧急制动助力模式时液压回路示意图如图 2-141 所示。

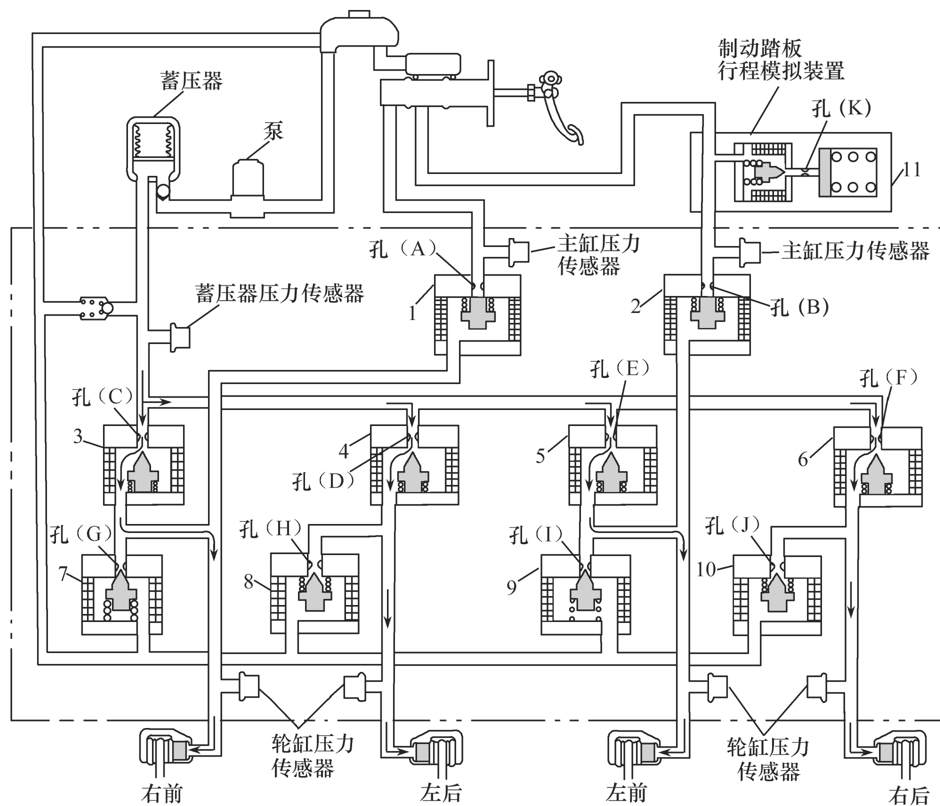


图 2-141　紧急制动助力模式时液压回路示意图

图注同 2-135

紧急制动助力模式时，各电磁阀的工作状态同正常制动增压模式一样，液压泵运转，使轮缸压力迅速增大，很快进入 ABS 起作用状态。

4）TRC 的工作原理。增压电磁阀和减压电磁阀将泵产生的液压调节至所需压力。可以 3 种模式（减压、压力保持和增压模式）控制驱动轮的轮缸，以限制驱动轮的滑转。

TRC 工作的系统图如图 2-142 所示。

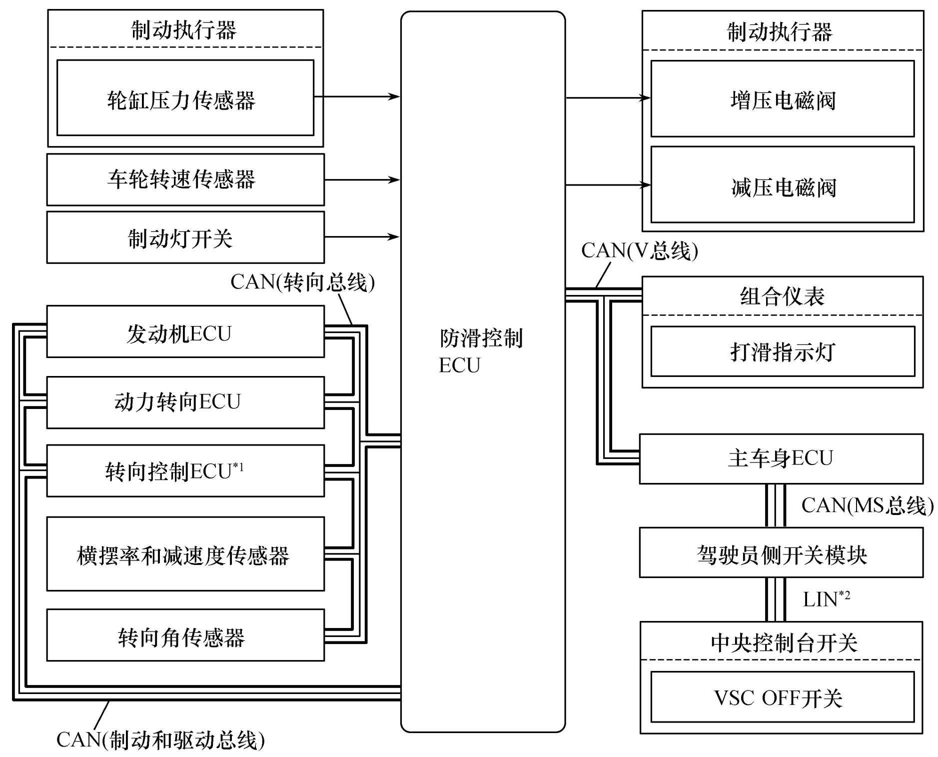


图 2-142 TRC 工作的系统示意图

*1：带 VGRS 系统的车型 *2：局域互联网

增压阀和减压阀根据 ABS 的工作模式打开或关闭。

图 2-143 为 TRC 功能激活时，增压模式下的液压回路图。

TRC 工作期间，各电磁阀的工作状态见表 2-8。

表 2-8 TRC 工作期间各电磁阀的工作状态

项 目			TRC 未激活	TRC 激活		
				增压模式	保持模式	减压模式
1	主缸切断电磁阀		ON	ON	ON	ON
2	孔：A、B		（关闭）	（关闭）	（关闭）	（关闭）
前制动器	3，5	增压电磁阀	OFF	OFF	OFF	OFF
		孔：C、E	（关闭）	（关闭）	（关闭）	（关闭）
	7，9	减压电磁阀	OFF	OFF	OFF	OFF
		孔：G、I	（关闭）	（关闭）	（关闭）	（关闭）
	轮缸压力		—	—	—	—

（续）

项　目			TRC 未激活	TRC 激活		
				增压模式	保持模式	减压模式
后制动器	4，6	增压电磁阀	OFF	ON	OFF	OFF
		孔：D、F	（关闭）	（半开＊）	（关闭）	（关闭）
	8，10	减压电磁阀	OFF	ON	ON	ON
		孔：H、J	（打开）	（关闭）	（关闭）	（半开＊）
	轮缸压力		—	增大	保持	减小
11	行程模拟装置切断电磁阀		ON	ON	ON	ON
	孔：K		（打开）	（打开）	（打开）	（打开）

ON 表示通电，OFF 表示断电。

＊：电磁阀根据使用情况持续调整孔的开度，以控制液压。

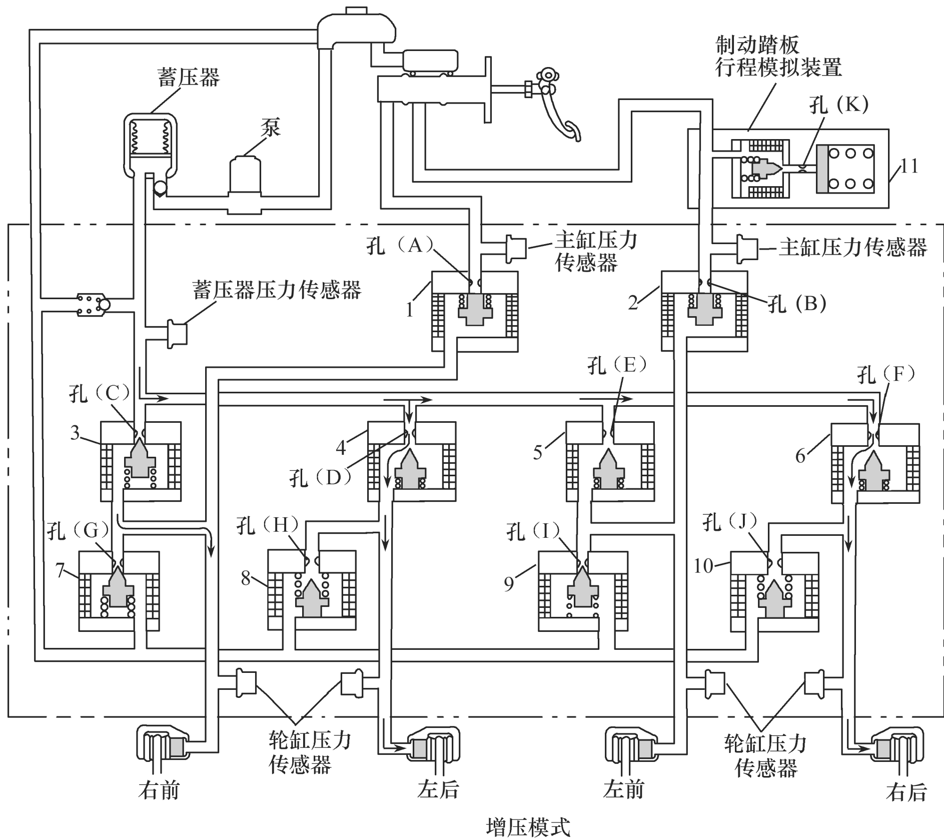


图 2-143　TRC 增压模式下的液压回路示意图

图注同图 2-135

5）VSC 的工作原理

① 概述。VSC 功能通过控制电磁阀以通过不同于正常制动的路径将存储在蓄压器中的液压传输到相应车轮的制动轮缸内。此功能以下列 3 种模式运行：减压、压力保持和增压模式。由此可限制前轮或后轮的打滑。

VSC 系统图如图 2-144 所示。

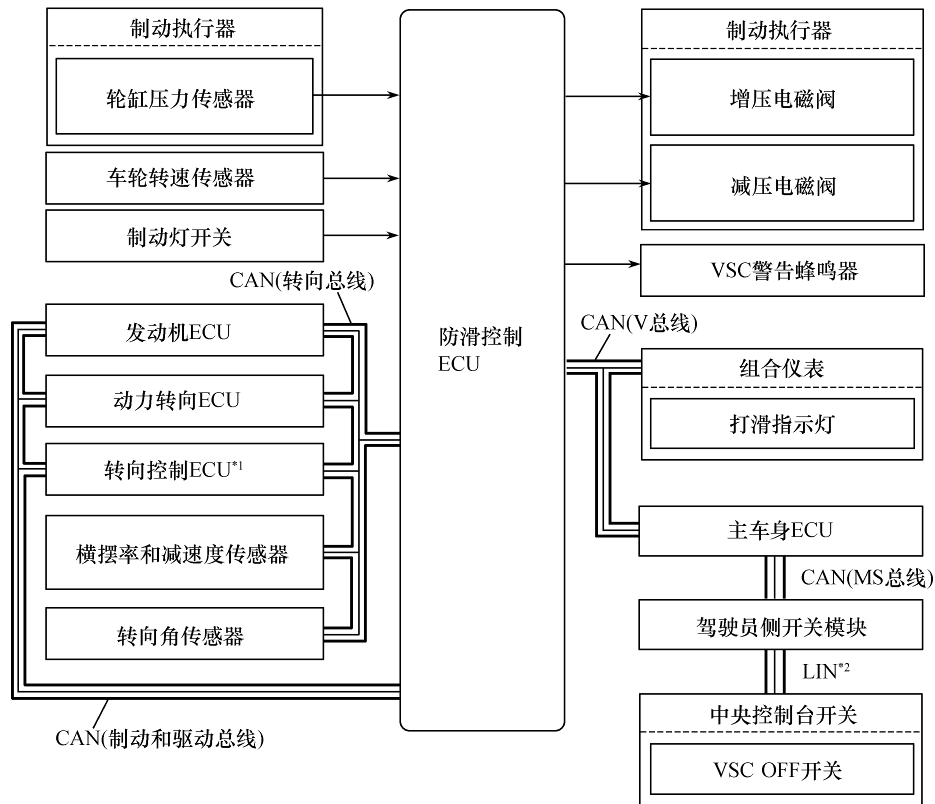


图 2-144　VSC 系统图

*1：带 VGRS 系统的车型　*2：局域互联网

② 前轮防滑控制（右转向）。前轮有打滑趋势时，此控制功能对转向时外侧的后轮和前轮施加制动。此外，根据制动器是否打开及车辆的状况，有可能无法向目标制动车轮施加制动。图 2-145 为增压模式下的液压回路。车辆右转向时，该液压回路可防止前轮打滑。

增压阀和减压阀根据 ABS 的工作模式打开或关闭。

图 2-145 为右转向时，前轮有打滑趋势，VSC 激活后处于增压模式的液压回路。

右转向时，VSC 未激活与前轮打滑 VSC 激活后各电磁阀的工作状态见表 2-9。

表 2-9　右转向前轮防滑控制时各电磁阀的工作状态

项　目			VSC 未激活	VSC 激活		
				增压模式	保持模式	减压模式
1 2	主缸切断电磁阀		OFF （打开）	ON （关闭）	ON （关闭）	ON （关闭）
	孔：A、B					
前制动器	3	增压电磁阀	OFF （关闭）	ON （半开 *）	OFF （关闭）	OFF （关闭）
		孔：C				
	5	增压电磁阀	OFF （关闭）	OFF （关闭）	OFF （关闭）	OFF （关闭）
		孔：E				

（续）

项　目			VSC 未激活	VSC 激活		
				增压模式	保持模式	减压模式
前制动器	7	减压电磁阀	OFF	OFF	OFF	OFF
		孔：G	（关闭）	（关闭）	（关闭）	（半开＊）
	9	减压电磁阀	OFF	OFF	OFF	OFF
		孔：I	（关闭）	（关闭）	（关闭）	（关闭）
	轮缸压力	右	—	—	—	—
		左	—	增大	保持	减小
后制动器	4	增压电磁阀	OFF	OFF	OFF	OFF
		孔：D	（关闭）	（关闭）	（关闭）	（关闭）
	6	增压电磁阀	OFF	ON	OFF	OFF
		孔：F	（关闭）	（半开＊）	（关闭）	（关闭）
	8	减压电磁阀	OFF	ON	OFF	ON
		孔：H	（打开）	（关闭）	（打开）	（半开＊）
	10	减压电磁阀	OFF	ON	ON	ON
		孔：J	（打开）	（关闭）	（关闭）	（半开＊）
	轮缸压力	右	—	增大	保持	减小
		左				
11	行程模拟装置切断电磁阀		ON	ON	ON	ON
	孔：K		（打开）	（打开）	（打开）	（打开）

ON 表示通电，OFF 表示断电。

＊：电磁阀根据使用情况持续调整孔的开度，以控制液压。

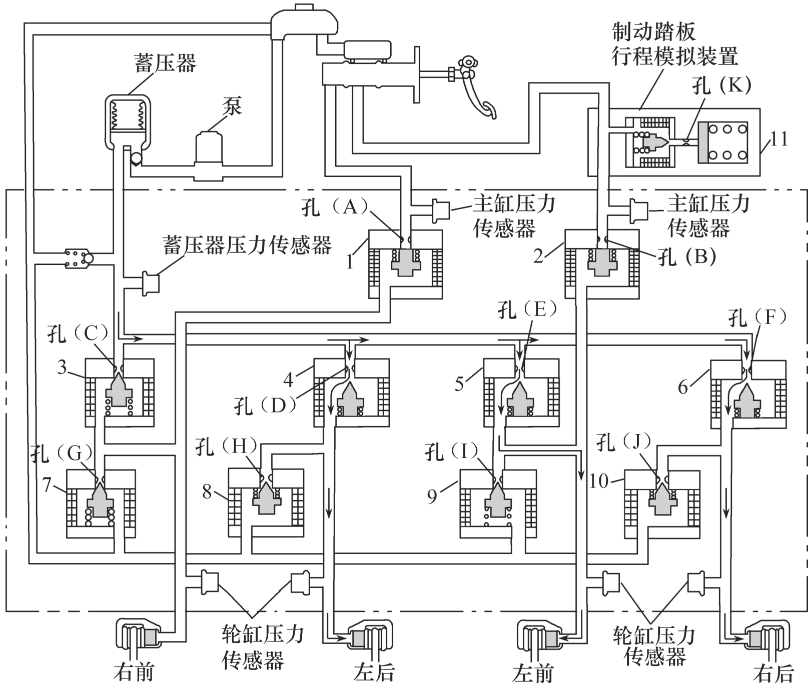


图 2-145　右转向时，前轮有打滑趋势，VSC 激活后处于增压模式的液压回路

图注同图 2-136

③ 后轮防滑控制（右转向）。后轮有打滑趋势时，此控制功能对转向时外侧的前轮施加制动。必要时，防滑控制 ECU 向后轮施加制动。图 2-146 为增压模式下的液压回路。车辆右转向时，该液压回路可防止后轮打滑。

和前轮防滑控制相同，增压阀和减压阀根据 ABS 的工作模式打开或关闭。

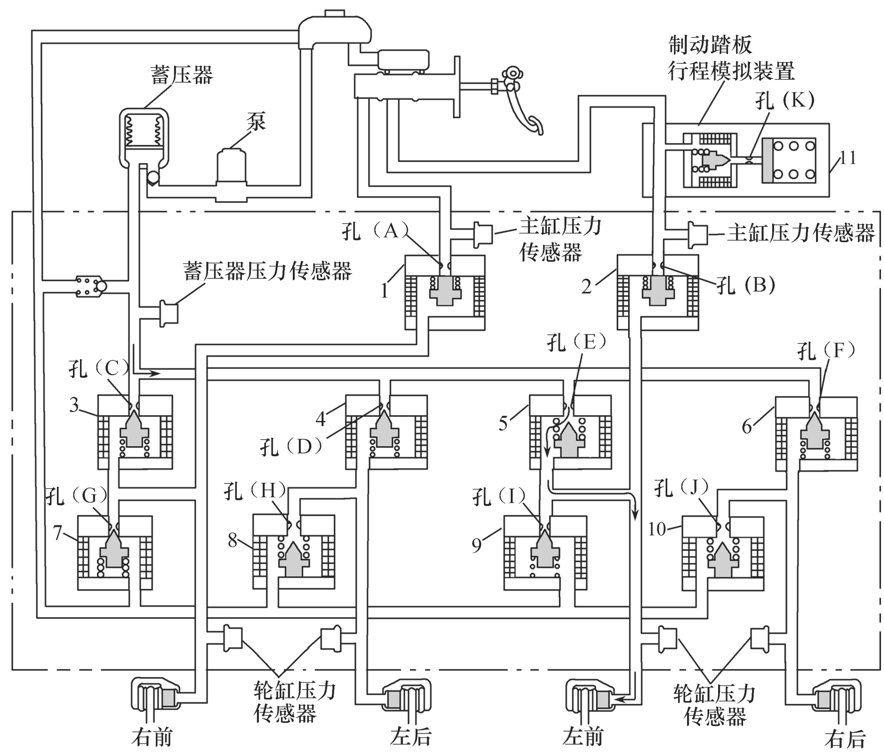


图 2-146 右转向时，后轮有打滑趋势，VSC 激活后处于增压模式的液压回路

图注同图 2-135

右转向时，VSC 未激活与后轮有打滑趋势 VSC 激活后各电磁阀的工作状态见表 2-10。

表 2-10 右转向后轮防滑控制时各电磁阀的工作状态

项目			VSC 未激活	VSC 激活		
				增压模式	保持模式	减压模式
1	主缸切断电磁阀		OFF	ON	ON	ON
2	孔：A、B		（打开）	（关闭）	（关闭）	（关闭）
前制动器	3	增压电磁阀	OFF	ON	OFF	OFF
		孔：C	（关闭）	（半开*）	（关闭）	（关闭）
	5	增压电磁阀	OFF	OFF	OFF	OFF
		孔：E	（关闭）	（关闭）	（关闭）	（关闭）
	7	减压电磁阀	OFF	OFF	OFF	ON
		孔：G	（关闭）	（关闭）	（关闭）	（半开*）
	9	减压电磁阀	OFF	OFF	OFF	OFF
		孔：I	（关闭）	（关闭）	（关闭）	（关闭）
	轮缸压力	右	—	—	—	—
		左	—	增大	保持	减小

（续）

项　目			VSC 未激活	VSC 激活		
				增压模式	保持模式	减压模式
后制动器	4	增压电磁阀 孔：D	OFF （关闭）	OFF （关闭） （*2）ON （半开*1）	OFF （关闭）	OFF （关闭）
后制动器	6	增压电磁阀 孔：F	OFF （关闭）	OFF （关闭） （*2）ON （半开*1）	OFF （关闭）	OFF （关闭）
后制动器	8	减压电磁阀 孔：H	OFF （打开）	ON （关闭）	OFF （打开）	ON （关闭） （*2）ON （半开*1）
后制动器	10	减压电磁阀 孔：J	OFF （打开）	ON （关闭）	ON （关闭）	ON （关闭） （*2）ON （半开*1）
后制动器	轮缸压力	右 左	—	—	—	—
11	行程模拟装置切断电磁阀 孔：K		ON （打开）	ON （打开）	ON （打开）	ON （打开）

ON 表示通电，OFF 表示断电。

*1：电磁阀根据使用情况持续调整孔的开度，以控制液压。

*2：必要时，防滑控制 ECU 向后轮施加制动。

6）上坡起步辅助控制的工作原理。防滑控制 ECU 根据来自车轮转速传感器、减速度传感器和挡位传感器的信号判断车辆在坡路上后移时，将根据车轮的状态开始进行制动控制。

上坡起步辅助控制过程中，组合仪表上的打滑指示灯闪烁且制动灯亮起。

由制动执行器的泵产生的液压分配到轮缸。

上坡起步辅助控制系统示意图如图 2-147 所示。

7）制动保持的工作原理

① 概述。根据来自横摆率和减速度传感器的信号，防滑控制 ECU 向 4 个车轮施加适合于路面坡度的轮缸压力。因此，即使驾驶员施加到制动踏板的力减小，车辆仍可保持稳定。如果制动保持功能运行时车辆移动，则防滑控制 ECU 将增大轮缸压力，以使车辆停止。

由制动执行器的泵产生的液压分配到轮缸。

图 2-148 为制动保持功能系统图。

图 2-149 为制动保持功能的时序图。

② 制动保持功能准备条件。要运行制动保持功能，首先需满足制动保持准备条件。在满足下列所有条件的情况下驾驶员按下制动保持开关时，则满足了制动保持准备条件，组合

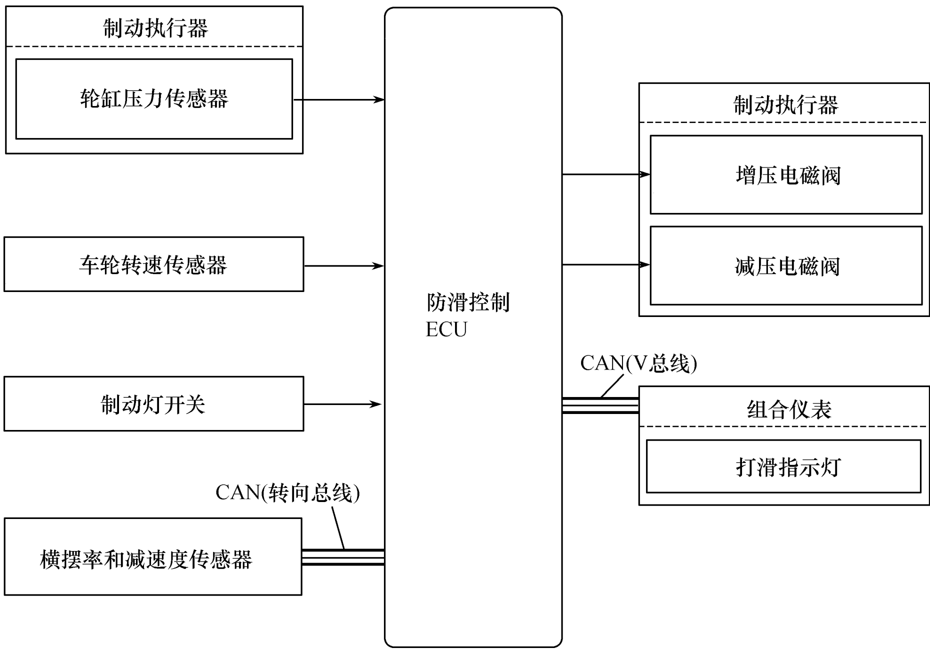


图 2-147 上坡起步辅助控制系统示意图

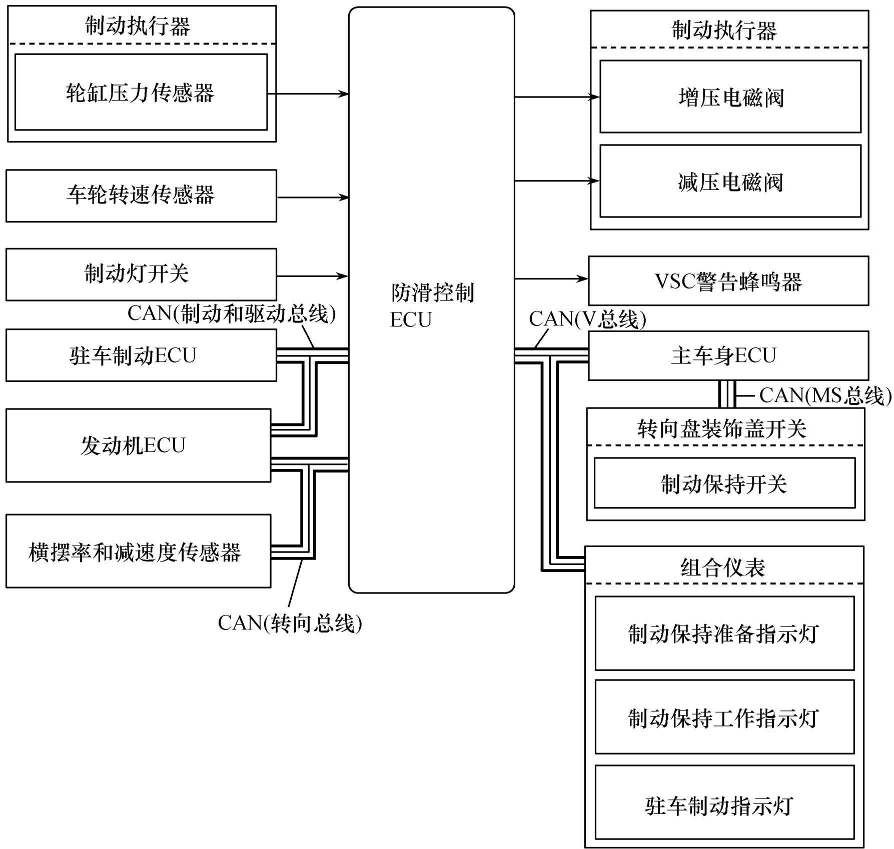


图 2-148 制动保持功能系统示意图

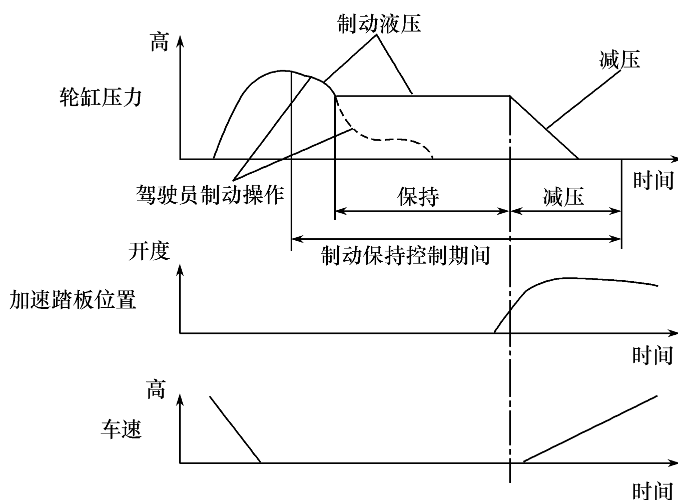


图 2-149　制动保持功能时序图

仪表上的制动保持准备指示灯亮起。如果有一条件未满足时驾驶员就按下制动保持开关，则蜂鸣器鸣响且多信息显示屏上显示信息，以警告驾驶员制动保持功能不起作用。

制动保持功能准备条件：

a. 发动机控制系统、变速器控制系统、电动-机械驻车制动和电子控制制动系统均正常工作。

b. 驾驶员门关闭。

c. 驾驶员座椅安全带扣紧。

d. 行李箱盖关闭。

e. 发动机室盖关闭。

③ 制动保持功能工作条件。具备制动保持准备条件并满足下列条件时，制动保持功能运行。此时，组合仪表上的制动保持工作指示灯亮起。

制动保持功能工作条件：

a. 变速杆位于 P 位或 R 位以外的位置。

b. 驾驶员踩下制动踏板且车辆停止。

c. 驾驶员未踩加速踏板。

d. 车辆不在陡坡上。*

*：如果因车辆在陡坡上而使制动保持功能不起作用，则系统将通过以下方式提示驾驶员：熄灭制动工作指示灯，且多信息显示屏上显示“Brake hold not available on slope”警告信息。

为帮助车辆在坡路上起步，驾驶员松开制动踏板后，防滑控制 ECU 保持轮缸压力约 2s。超过 2s 后，上坡起步辅助控制系统工作。

④ 制动保持功能运行结束条件。具备下列条件之一时，防滑控制 ECU 取消制动保持功能。此外，通过熄灭制动保持工作指示灯和多信息显示屏显示信息的方式提示驾驶员制动保持功能已取消。

制动保持功能运行结束条件：

a. 驾驶员踩下加速踏板。

b. 变速杆位于 P 位。

c. 驾驶员在踩下制动踏板的同时将变速杆换至 R 位。

⑤ 电动-机械驻车制动运行条件。如果制动保持功能运行且驾驶员未踩下制动踏板时满足下列任一条件，则电动-机械驻车制动将自动锁定。

电动-机械驻车制动运行条件：

a. 驾驶员门打开。

b. 驾驶员座椅安全带未扣紧。

c. 行李箱盖打开。

d. 发动机室盖打开。

e. 制动保持功能运行 3min 后。

⑥ 制动保持功能准备条件取消条件。如果具备制动保持准备条件时出现下列任一情况，则防滑控制 ECU 取消制动保持准备条件。

制动保持功能准备条件取消条件：

a. 如果驾驶员座椅安全带未扣紧或驾驶员门、行李箱盖、发动机室盖打开，则电动-机械驻车制动将自动锁定。

b. 车辆行驶过程中出现下列任一情况：驾驶员座椅安全带未扣紧或驾驶员门、行李箱盖、发动机室盖打开。

c. 制动保持功能不起作用时驾驶员按下制动保持开关。

d. 驾驶员踩下制动踏板且制动保持功能运行时按下制动保持开关。

⑦ 制动保持功能运行禁止条件。如果下列系统出现故障，则防滑控制 ECU 禁止制动保持功能的运行，同时使制动保持准备指示灯闪烁以警告驾驶员。

制动保持功能运行禁止条件：

a. 发动机控制系统故障。

b. 变速器控制系统故障。

c. 电动-机械驻车制动故障。

d. 电子控制制动系统 * 故障。

*：如果电子控制制动系统出现故障，则电动-机械驻车制动自动锁定。如要使车辆起步，则驾驶员必须手动解除电动-机械驻车制动。

8）自动制动控制的工作原理。由制动执行器的泵产生的液压分配到轮缸。有关详情参见前述。

自动制动控制系统示意图如图 2-150 所示。

9）预碰撞安全系统的工作原理（带预碰撞安全系统的车型）。如果防滑控制 ECU 切换到助力制动准备模式时驾驶员踩下制动踏板，则即使是正常制动，助力制动控制也将运行。

如果碰撞无法避免，则即使驾驶员未踩下制动踏板，防滑控制 ECU 也将使制动执行器的电动机直接将压力加到轮缸上。

预碰撞安全系统示意图如图 2-151 所示。

10）防滑控制 ECU 的其他控制

① 发动机输出功率控制。如图 2-152 所示，制动控制工作（TRC 或 VSC 功能）期间，

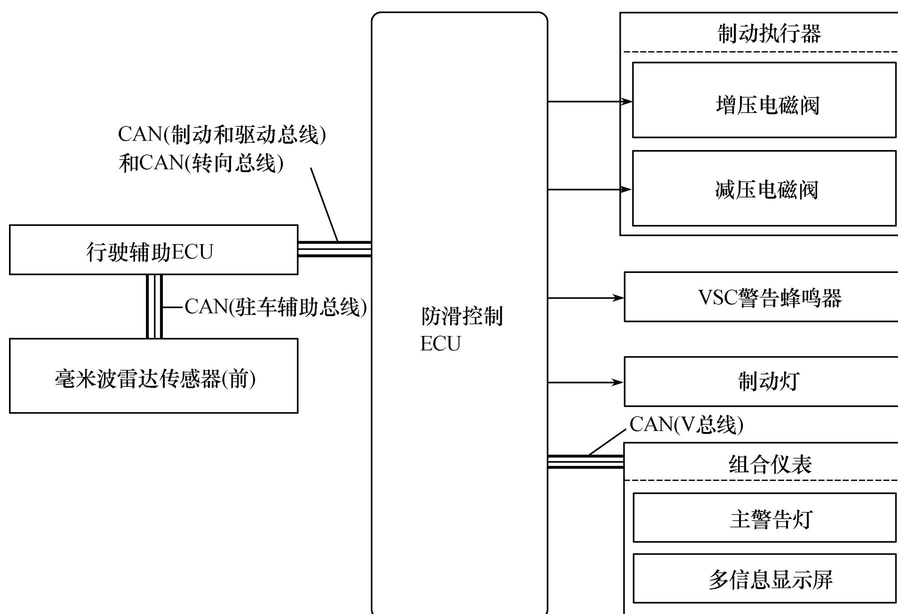


图 2-150　自动制动控制系统示意图

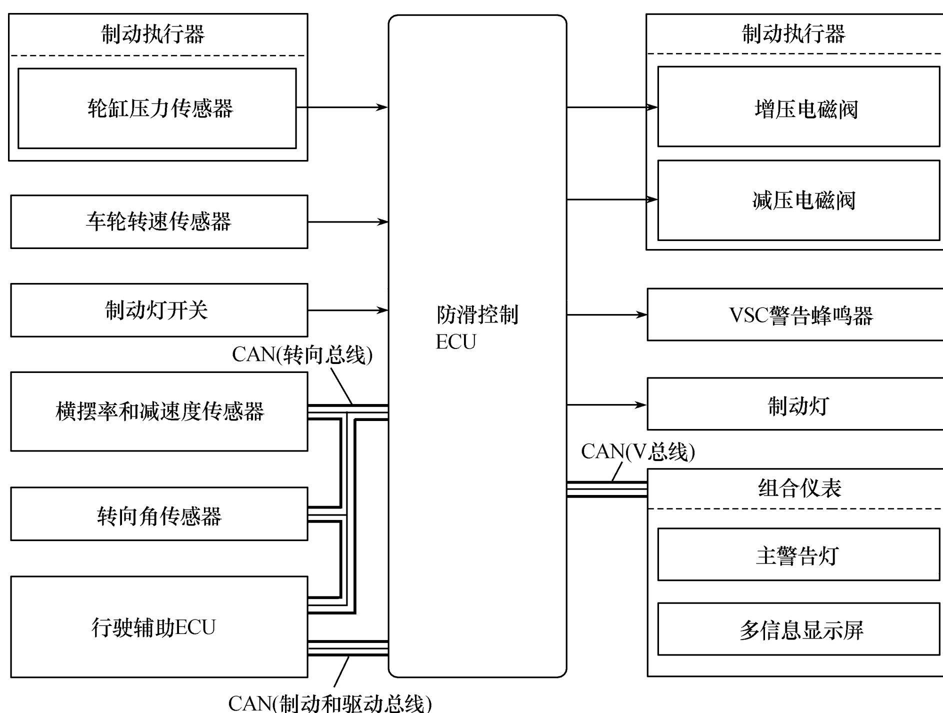


图 2-151　预碰撞安全控制系统示意图

防滑控制 ECU 将发动机输出功率控制信号发送至发动机 ECU，接收到此信号后，发动机 ECU 进行节气门控制以调节发动机输出。此时，ECT ECU 根据来自防滑控制 ECU 的信号控制升挡正时，以保持车辆稳定性。

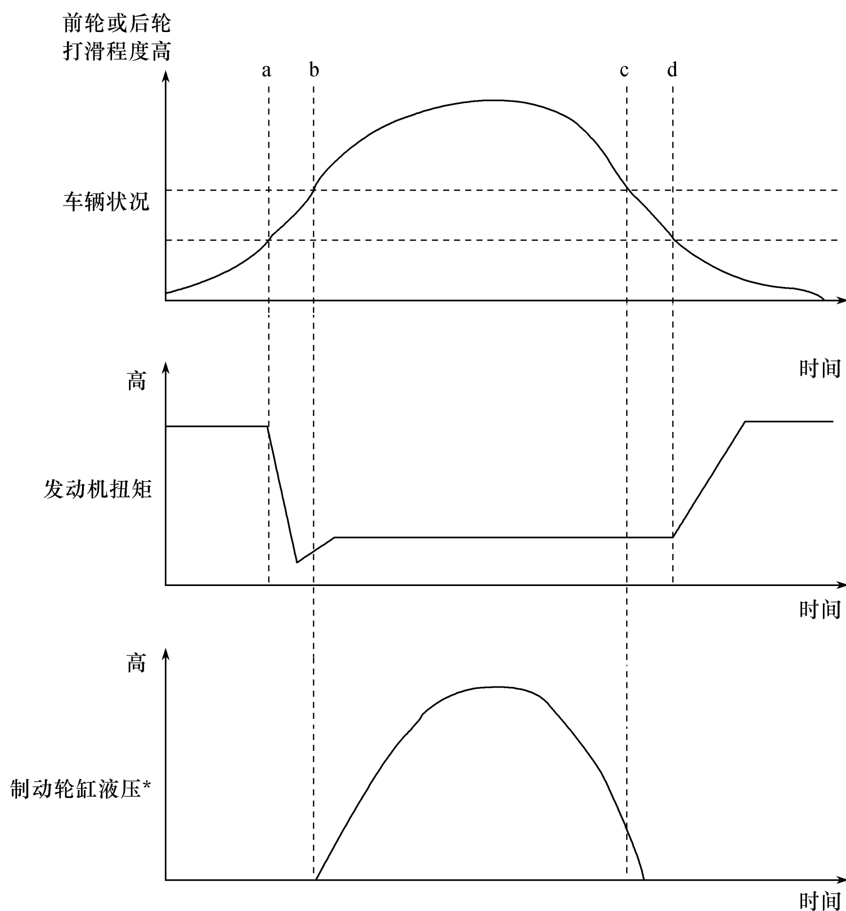


图 2-152 防滑控制 ECU 的发动机输出功率控制

*：轮缸的激活根据车辆状况的变化而变化

a—开始节气门控制和换挡正时控制 b—开始制动控制

c—制动控制完成 d—节气门控制完成

② 诊断。如果制动系统的任一传感器或执行器出现故障，则防滑控制 ECU 将通过以下方式提示驾驶员：组合仪表上的制动警告灯/红色（故障）、制动警告灯/黄色（轻微故障）或 ABS 警告灯亮起，或显示 VSC 警告信息/“CHECK VSC SYSTEM”（显示在多信息显示屏上）。

同时，DTC（故障码）存储在存储器中。将 SST（09843－18040）连接到 DLC3 连接器的端子 Tc 和 CG 并观察 ABS 警告灯、制动警告灯/黄色（轻微故障）的闪烁情况，或根据多信息显示屏上显示的“DIAG VSC”信息，均可读取 DTC。连接智能检测仪Ⅱ并根据显示在检测仪上的代码也可读取 DTC。

此系统具有传感器信号检查（测试模式）功能。将 SST（09843－18040）连接到 DLC3 的端子 Ts 和 CG 或连接智能检测仪 II 可激活此功能。

如果 CAN 的通信 ECU 或传感器出现故障，则将同时输出多个 DTC 以指示故障部位。

多信息显示屏显示示例如图 2-153、图 2-154 所示。

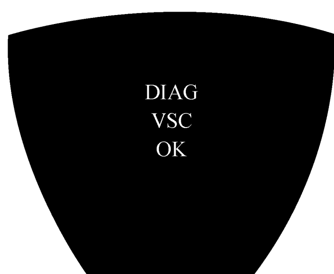


图 2-153　显示屏显示正常系统代码



图 2-154　显示屏显示故障码

③ 失效保护。如果防滑控制 ECU、传感器和/或制动执行器出现故障，则该系统将通过停止故障部位的工作并仅在正常的部位继续进行制动控制。

（六）奔驰轿车 SBC 感应式主动制动系统

奔驰轿车采用了先进的 SBC（sensortonic brake control）感应式主动制动系统，它集 ABS、ASR、ETS、ESP 及 BAS 功能于一体，可以称得上是汽车制动技术史上的一次革命。

（1）概述　SBC 系统是一个电子液压制动系统，较之其他制动系统，该系统的技术更先进。当车辆上安装了 SBC 系统后，将表现出如下更多的优点。

1）提高了制动压力传递的准确性和灵敏性。

2）缩短了紧急制动时的制动距离。

3）提高车辆行驶时的安全性。

4）使得制动摩擦片的磨损更为均匀，延长了它的使用寿命。

5）在车辆转弯制动时能够产生更为理想的制动效果。

6）使车辆行驶更加安全和舒适。

（2）舒适性和安全性的具体功能说明

1）SBC Stop。当车辆以一定的减速度进行制动直到车辆停下之前（车速＜15km/h）时此功能起作用。它可对车辆进行辅助制动，驾驶员不用再踩制动踏板便能使车静止。

车辆行驶在交通拥挤的道路上时，驾驶员只需踩加速踏板就可解除此功能。

注意：如果在“SBC Hold/Stop”功能起动时开门或系统出现故障时，“Brake immediately”会出现在多功能显示器上，此时请驾驶员立即踩制动踏板。

2）SBC Hold（驻车功能）。此功能可防止车辆在斜坡上停车时溜车。另外，在长时间等候交通指示灯时可方便驾驶员操作，驾驶员不用通过踩制动踏板来保持车辆的静止，因此提高了驾驶的舒适性。

操作：①车辆必须静止，并且要踩制动踏板。②短暂地踩制动踏板直到“SBC H”出现在仪表板上。③释放制动踏板，车辆将保持静止状态。

功能解除：①Selector lever 换到 P 位。②踩下加速踏板。③重新踩制动踏板。

3）Soft stop（舒适停车）。当车速低于 6km/h 行驶时，此功能可减轻制动所带来的摇摆，起到缓冲作用。但在 Emergency 和 Full braking 时不起动，目的是得到更加理想的制动距离。

4）Dry braking（除湿制动）。如果车辆处于雨中，制动会出现衰退现象，而有了此功能就可保证制动器处于干燥的状态下进行制动，因此使车辆更加安全。

此功能是根据刮水器的速度进行工作的（5～10min）。

5）Pre－charging（预先制动）。如果驾驶员急收加速踏板，它可将制动摩擦片预先收紧一些，从而使制动更加敏捷。

6）Pre－Drive Check（自行检测）。车辆在行驶之前系统会自行检测，从而使车辆行驶更加安全。

（3）系统工作原理

1）SBC系统元件位置图。SBC系统元件位置如图2-155所示。

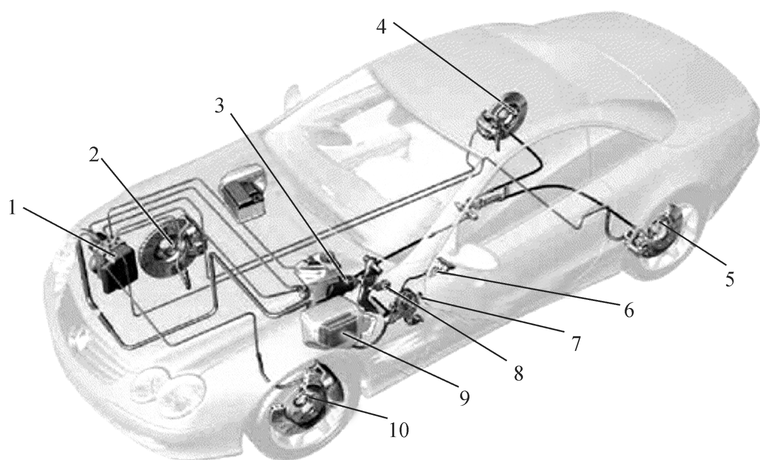


图2-155　SBC系统元件的位置

1—A7/3nl（SBC控制单元）　2—L6/2（右前车轮转速传感器）　3—B37/1（SBC踏板行程传感器）　4—L6/4（右后车轮转速传感器）　5—L6/3（左后车轮转速传感器）　6—X11/4（数据连接器）　7—S12（停车制动开关）　8—S9/1（停车灯开关）　9—N47－5（ESP控制单元）　10—L6/1（左前车轮转速传感器）

2）液压单元的结构及主要元件的功能。图2-156为SBC液压单元与电控单元总成外形图。

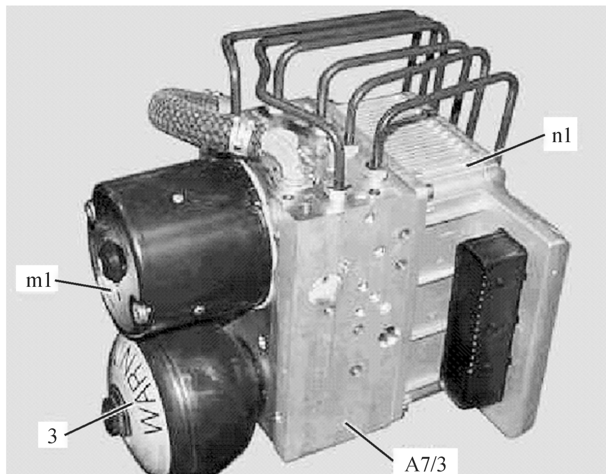


图2-156　SBC液压单元与电控单元

m1—高压蓄压泵电动机　n1—SBC电控单元　3—高压蓄压器　A7/3—SBC液压单元

图 2-157 为 SBC 液压单元的内部结构示意图。

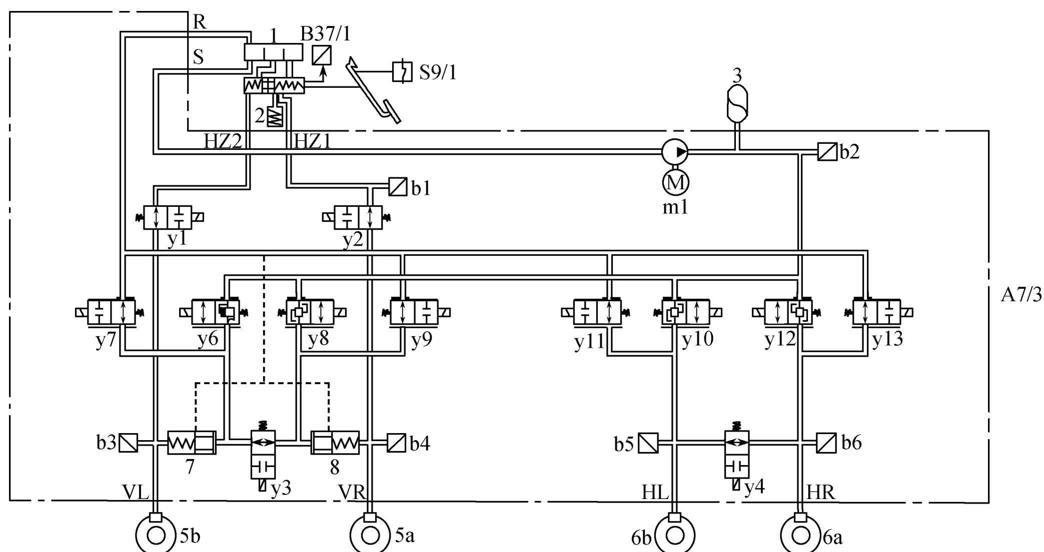


图 2-157　液压单元的结构示意图

1—操纵单元　2—踏板位置模拟器　3—蓄压器　7—左前分动活塞　8—右前分动活塞　5a—右前制动轮缸　5b—左前制动轮缸　6a—右后制动轮缸　6b—左后制动轮缸　A7/3—SBC 液压单元　bl—前轴压力传感器　b2—蓄压器压力传感器　b3—左前压力传感器　b4—右前压力传感器　b5—左后压力传感器　b6—右后压力传感器　ml—高压输油泵　yl—操作阀（左前分泵）　y2—操作阀（右前分泵）　y3—前轴平衡阀　y4—后轴平衡阀　y6—左前进油控制阀　y7—左前出油控制阀　y8—右前进油控制阀　y9—右前出油控制阀　y10—左后进油控制阀　yll—左后出油控制阀　y12—右后进油控制阀　y13—右后出油控制阀　B37/1—SBC 踏板位置传感器　S9/1—制动灯开关（4 触点）　R—回油管　S—油泵进油管

其主要部件功能如下：

① 高压泵。必要时，给蓄压器补充压力，使它能够达到正常工作压力（16MPa）。

② 蓄压器。提供制动压力。

③ 分动活塞（7 和 8）。分配制动压力（只有前桥有，因为前面制动压力大）。

④ 进油/出油控制阀（y6～y13）。控制制动液的流入与流出。y6、y8、y10、y12 为进油控制阀，y7、y9、y11、y13 是出油控制阀。进油控制阀是限压阀，压力＞19MPa 时开启。

⑤ 操作阀（y1 和 y2）。也称主缸切断阀，不制动时此阀打开；制动时通电关闭。如果电子液压系统出现故障，则阀断电处于常开状态。

⑥ 平衡阀（y3 和 y4）。此阀起平衡左右车轮制动压力的作用。在正常制动时此阀打开；如果驾驶员弯道时制动，则此阀关闭。

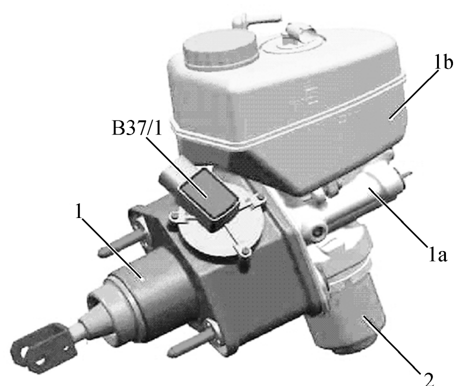


图 2-158　操纵单元外观

1—操纵单元壳体　2—制动压力模拟器　1a—操纵单元主缸　1b—储液罐　B37/1—踏板行程传感器

3）操纵单元结构组成。操纵单元的外形图如图 2-158 所示。操纵单元内部结构剖视图如图 2-159 所示。

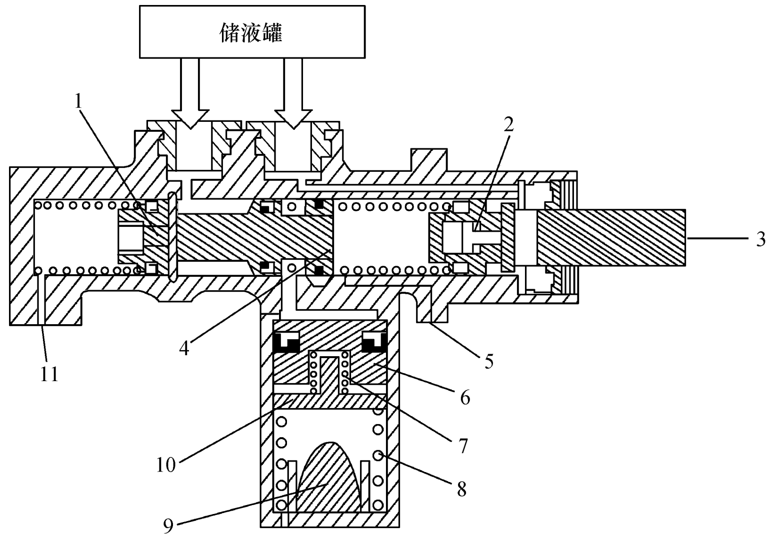


图 2-159 执行单元剖视图

1—前活塞中心阀 2—主活塞中心阀 3—主活塞 4—前活塞 5—接操作阀 y2 6—制动压力模拟器活塞 7—制动压力模拟器活塞弹簧（软） 8—制动压力模拟器活塞弹簧（硬） 9—缓冲垫 10—制动压力模拟器浮动弹簧座 11—接操作阀 y1

4）SBC 液压单元各种工作状态。SBC 液压单元各种工作状态如图 2-160、图 2-161、图 2-162 所示。

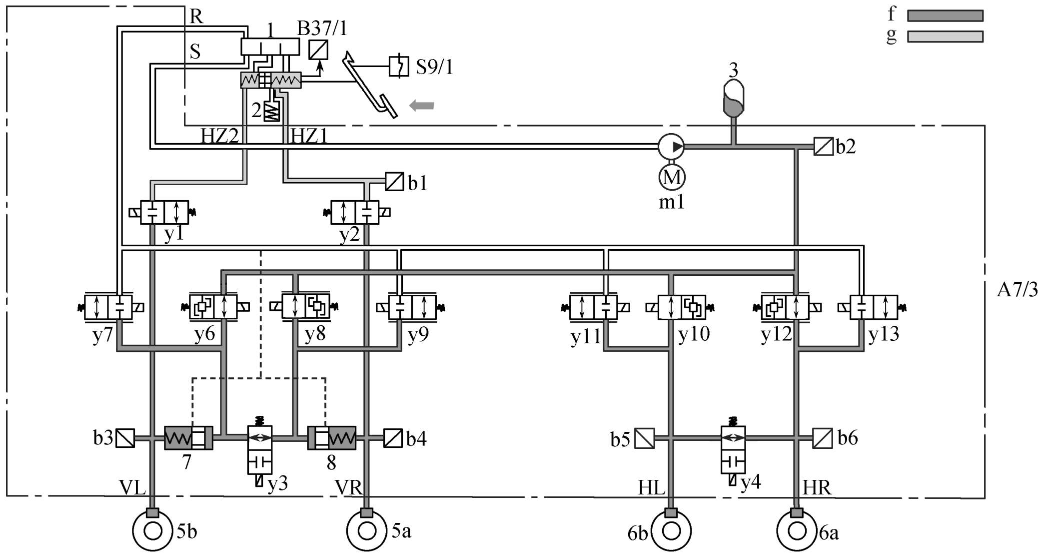


图 2-160 增压状态

f—蓄压器压力 g—制动踏板压力（制动压力模拟器压力）

图注同图 2-157

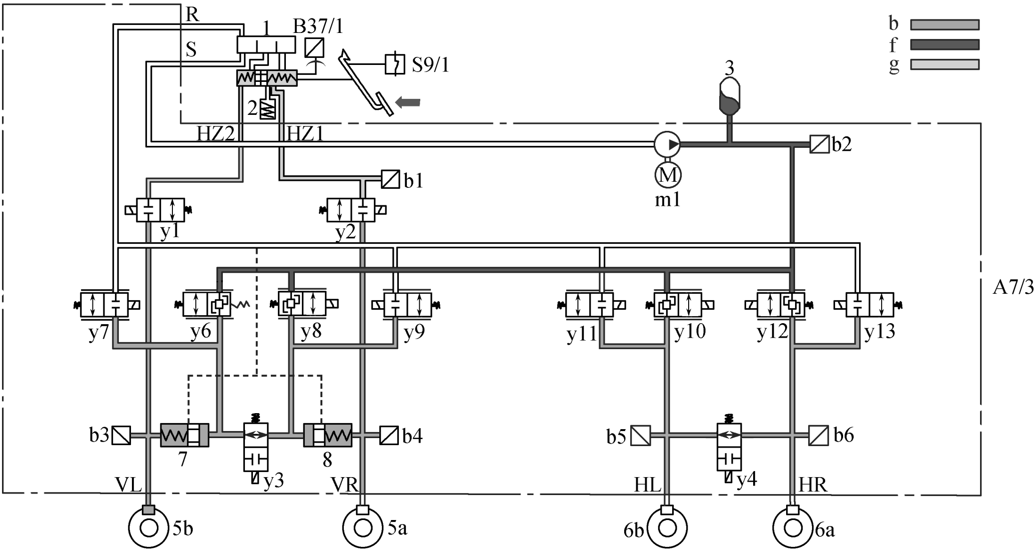


图 2-161　保压状态

b—制动压力　f—蓄压器压力　g—制动踏板压力（制动压力模拟器压力）

图注同图 2-157

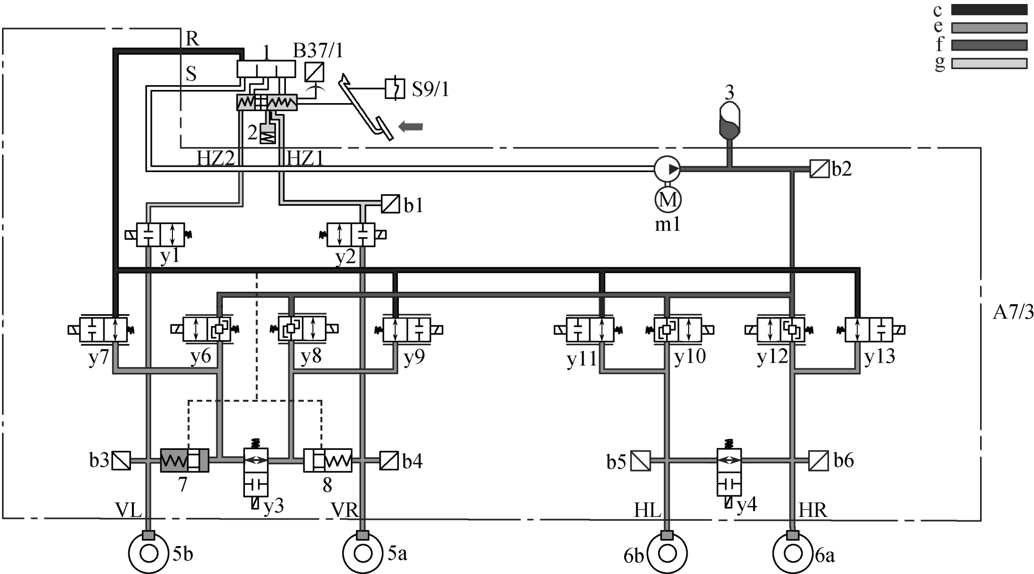


图 2-162　减压状态

c—制动液回流　e—减小的制动压力　f—蓄压器压力　g—制动踏板压力

图注同图 2-157

5）基本制动。如果 ESP 控制单元或 ESP 控制单元和 SBC 控制单元的通信出现问题，系统将进入基本制动状态，如图 2-163 所示。

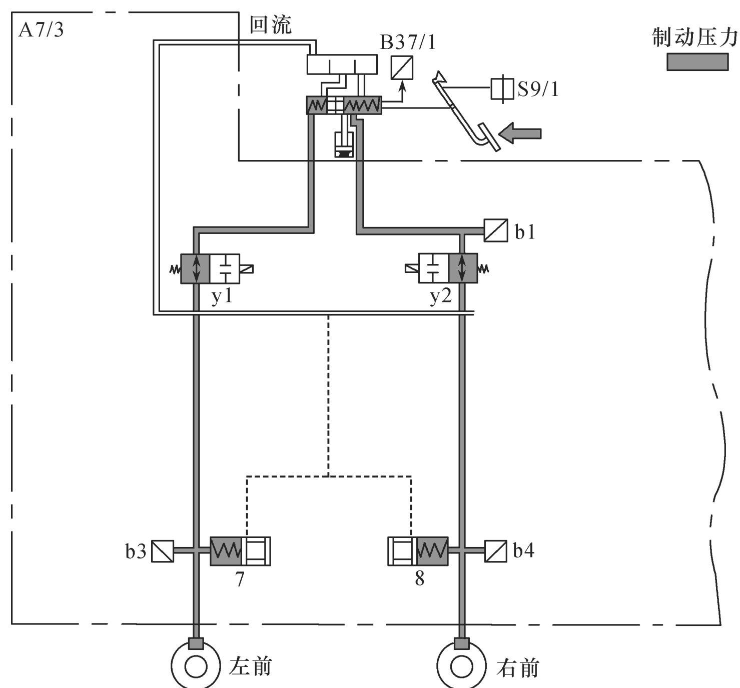


图 2-163　基本制动状态

图注同图 2-157

此时，SBC 操纵单元的工作状态如图 2-164 所示。

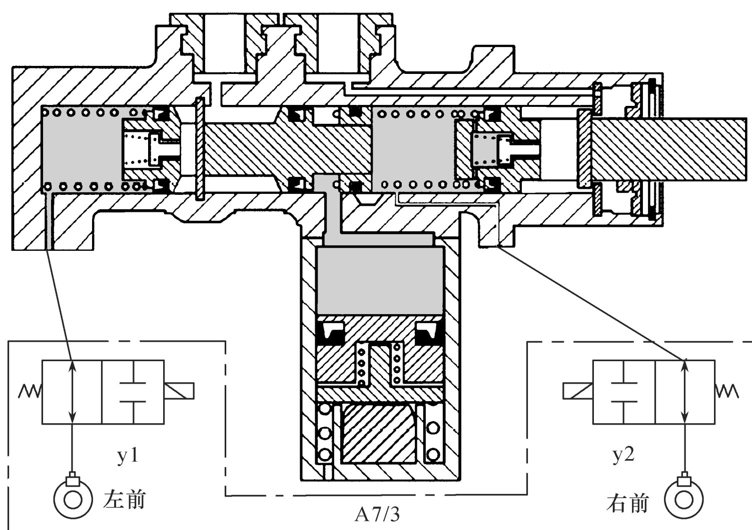


图 2-164　SBC 操纵单元处于基本制动工作状态

图注同图 2-157

在这种状态下所有的电脑控制有关功能取消，制动液压没有动力帮助，制动踏板产生的制动压力经过主缸切断阀（操作阀）A7/3 y1 和 y2 直接到左前和右前轮分泵，制动进入故障运行模式，只有 70％的制动力，且后轮无制动。

6）SBC 控制单元。SBC 控制单元分为如下 3 个功能区。

① 信号采集区。主要有以下信号：

来自踏板行程传感器（B37/1）的制动踏板速度信号；来自压力传感器（A7/3 b1）的由操纵单元产生的前桥先导压力信号；由压力传感器（A7/3 b2）产生的高压泵输出压力信号（蓄压器压力信号）；还有来自 4 个车轮制动器的制动压力信号以及来自各车轮转速传感器信号（L6/1、L6/2、L6/3、L6/4）的轮速信号等。

② 逻辑区。将输入信号进行处理变成输出信号，并进行相应的处理。

车轮转速传感器信号：4 个车轮转速传感器信号传递到 ESP 控制单元。

传到 ESP 控制单元的其他信号：4 个车轮压力信号、制动灯开关信号、储液罐压力信号、前桥先导压力信号和踏板速度信号。

压力控制单元：ESP 控制单元计算后的压力通过它被分配到各车轮。

③ 安全回路。此功能是本着提高安全性来考虑的，它将检查来自传感器的信号、控制单元和系统电路是否有误。如果检测出某项有误，则系统将关闭，并且在多功能显示屏中显示警告信息，如图 2-165 所示（因车型不同显示方式可能有所不同，此图仅供参考）。另外，还将故障码储存在控制单元中。如果电源电压低于 8.5V 或高于 17.4V，则系统会自动关闭。

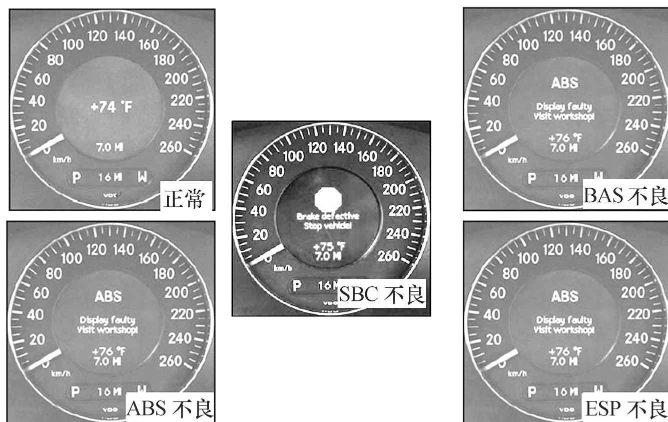


图 2-165　多功能显示屏上显示的警告信息

九、故障排除实例

1. 奔驰 300E ABS 灯间歇性亮

1）故障现象。奔驰 300E 轿车 ABS 灯间歇性亮，当 ABS 灯亮起后，则无 ABS 作用；当其不亮时，则有 ABS 作用。灯亮时，只要关闭点火开关后再起动，ABS 灯即会熄灭，但行驶一段时间后又亮。有时行驶较长时间才亮，有时行驶一会儿就亮。

2）诊断与排除。该车 ABS 系统采用博世 ABS 2S 系统，早期生产的不具备故障自诊断功能，故此车不能提取故障码。检查两前轮转速传感器，电阻均为 1150Ω 左右，后轮转速传感器为 750Ω，均正常。用手转动前轮，前轮转速传感器均能输出 0.3V 交流电压。顶起

后轮，起动挂挡使后轮转动，低速输出 0.9V 电压，加速至高速上升至 2.1V，这些说明车轮转速传感器本身无问题，由于这些测量不是在电脑端子处测量，所以不能确认车轮转速传感器信号能输送给电脑。现进行模拟测试：将车辆举升，四轮悬空，起动发动机，变速杆置于 D 位，观察 ABS 灯是否亮。若灯亮表明后轮差速器的车轮转速传感器不良，结果灯不亮；转动左前轮，ABS 灯亮，说明左前轮转速传感器正常；熄火后，再用同样方法测试右前轮，ABS 灯亮，说明右前轮转速传感器已能正常传递给电脑。以上检测说明，车轮转速传感器至电脑的线路及车轮转速传感器均无问题。

但在进行模拟试验时发现，挂挡转动两后轮，然后紧急制动时，制动踏板有脉动，即有 ABS 作用。但作用时间短，接着灯亮；反复试验均如此。说明在 ABS 动作后，ABS 电脑发现系统不良而关闭，即断开 ABS 系统，并点亮 ABS 灯，故障应在电脑与执行 ABS 作用的电磁阀、回油泵及其电路。该奔驰车 ABS 系统电路图如图 2-166 所示。拆下 ABS 电脑，拔下插头，测量各电磁阀电阻，即 2 号端子与 32 号端子、35 号端子和 32 号端子、18 号端子与 32 号端子之间的电阻均在 0.7～1.7Ω 的范围内。检查电磁阀继电器线圈电阻，即 1 号端子与 27 号端子之间的电阻在 50～100Ω 范围内，检查电动回油泵继电器线圈电阻，即 1 号端子与 28 号端子之间的电阻在 35～60Ω 的范围内。打开点火开关。测量各端子的电压值，也均正常。为确诊故障，进行了动态试验，在 ABS 电脑 1 号端子（ABS 电源）和 32 号端子（电磁阀继电接点）接上测试线和电压表，进行道路行驶；制动时观察 1 号端子和搭铁间的电压，应在 11.7～13.5V 之间，实测结果一直正常，说明过压保护继电器提供的电源正常；而 32 号端子和搭铁之间的电压，亦应在 10.8V 以上，实测结果为 ABS 灯不亮时正常，而 ABS 灯亮的同时 32 号端子就没有电压了，这说明 ABS 电脑检测到故障，使电磁阀继电器断开，并点亮 ABS 灯。这样说来，ABS 电脑应无问题，应是执行元件出现了问题。

先了解此款奔驰车 ABS 系统的工作过程：

当点火开关接通时，过压保护继电器（也有的称 ABS 保护继电器）电磁线圈通电使触点闭合，12V 电压加在 ABS 电脑 1 号端子上，ABS 电脑进入自检状态，此时还有电流经 ABS 电脑 29 端子→ABS 警告灯→ABS 液压调节器 7 号端子→电磁阀继电器内的二极管→电磁阀继电器常闭触点→搭铁，将 ABS 灯点亮。自检发现故障，则保持 ABS 灯亮，电磁阀继电器及回油泵继电器均不通电，ABS 系统关闭。如果自检正常，则 ABS 电脑将其 27 端子通过内部搭铁，接通电磁阀继电器电磁线圈电路，常闭触点断开，ABS 灯熄灭；常开触点闭合，蓄电池电压加到 3 个电磁阀的一端，也加到 ABS 电脑 32 号端子上，这样电脑就会判定电磁阀继电器已处于激励状态。汽车行驶后，车速达 5～7km/h 时，ABS 电脑还要对各车轮转速传感器、电磁阀和电动回油泵的状态进行动态测试，一旦判定系统有故障，则切断电磁阀继电器控制回路，点亮 ABS 灯。车速超过一定值时，如果驾驶员制动，制动灯开关闭合，电压加在电脑 25 号端子上，车轮未抱死时，ABS 电脑使 2、35、18 端子与电脑内部搭铁之间的电阻为无穷大，即电磁阀断开，此时的制动过程与常规制动过程相同；当电脑判定有车轮制动趋于抱死时，就开始对相应的控制通道进行防抱死控制。假如 ABS 电脑判定左前轮趋于抱死，需要保持其制动压力时，电脑将其 2 号端子与搭铁之间保持 3.6Ω 左右的电阻，使左前轮电磁阀通过 2A 左右的电流，该电磁阀控制的左前轮控制通道便进入压力保持状态；如 ABS 电脑判定左前轮制动仍趋于抱死需减小制动压力时，电脑将使 2 号端子通过内部搭铁，左前轮电磁阀约通过 5A 电流，左前轮的控制通道就会进入压力减小状态；与

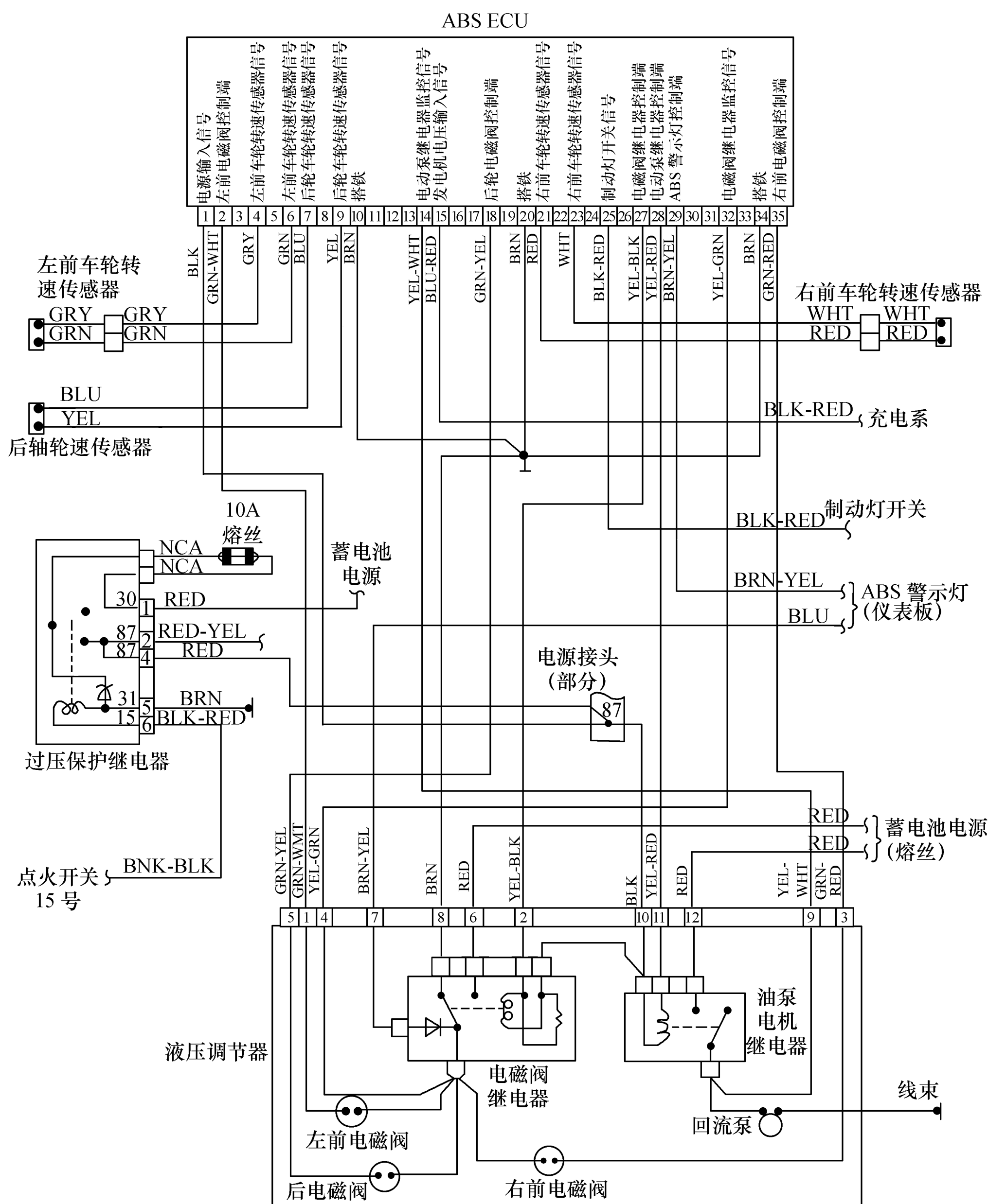


图 2-166 奔驰车 ABS 系统电路图

此同时，ABS 电脑还使其 23 号端子通过内部搭铁，接通回油泵继电器，回油泵运转，将左前轮制动分泵和储液器的制动液泵回制动总泵，驾驶员可感觉到制动踏板脉动顶脚。在电动回油泵运转期间，电压会加在 ABS 电脑 14 号端子上。电脑即可根据是否接收到蓄电池电压信号以及电压信号的高低，判定电动回油泵继电器是否处于闭合状态和电动回油泵工作电路是否正常。

照以上分析，电磁阀正常，顶起两后轮做模拟测试时，制动瞬间有 ABS 作用，故障应为电磁阀继电器、回油泵继电器、回油泵、电磁阀的线路接触不良，而由前面的电阻检测可知电磁阀继电器、回油泵继电器、电磁阀均正常，故应重点检查回油泵电路。拆开 ABS 液

压调节器总成上的罩盖，拔下回油泵继电器，短时（不超过 2s）短接回油泵接点，回油泵动作，这样试验了几次，终于发现回油泵搭铁线的螺钉处有火花，遂拆下用砂纸磨光清洁后接上。顶起后轮，起动发动机，挂挡后加速到 10km/h 以上，再紧急制动，有明显的 ABS 作用，踏板脉动较以前持久，且 ABS 灯不再点亮。试车，故障彻底排除。

2. 本田雅阁轿车 ABS 故障一例

一辆 94 款本田雅阁轿车出现下列故障现象：将点火开关置于 ON 位，ABS 灯亮；起动发动机，ABS 灯熄灭，同时 ABS 液压泵电动机旋转；大约过 1～2min，ABS 液压泵电动机停止运转，与此同时 ABS 灯点亮。

据此现象，首先检查 ABS 液压调节器储液器制动液液面，正常。接着，将点火开关置于 OFF 位，短接杂物箱下方的诊断插座两端子，再将点火开关置于 ON 位，读取故障码，无故障码输出。

本田雅阁 ABS 由 ABS ECU、液压调节器、车轮转速传感器、ABS 灯和诊断插座等组成。液压调节采用变容原理，液压调节器（图 2-167）由液压泵、蓄压器、压力开关、储液器、6 个电磁阀（3 个进油电磁阀即图 2-168 中的输入阀、3 个回油电磁阀即图 2-168 中的输出阀）和 4 个滑动活塞组成。进油阀（输入阀）为常闭电磁阀；回油阀（输出阀）为常开电磁阀。在整个制动过程中，液压泵产生的高压并不与制动轮缸相通，压力的调节是通过滑动活塞的移动来实现的，滑动活塞的移动则是由控制活塞控制，而控制活塞的移动则是由 ECU 指令电磁阀动作，使高压油液进入或停止进入控制活塞下方（图 2-168 中的 C 腔），或是使控制活塞下腔内的高压油回到储液器来实现的。常规制动状态时，电磁阀均不通电，制动轮缸的压力随主缸压力的上升而上升；进、回油阀均通电，则为减压状态；进油阀断电关闭，同时回油阀通电关闭时为压力保持状态。ABS ECU 根据来自车轮转速传感器的信号确定车轮有无抱死，尔后给液压调节器中的电磁阀发出指令，进行防抱死制动控制。当油压不足时，ABS ECU 同时指令液压泵电动机运转。ABS ECU 还通过制动灯开关、驻车制动灯开关和压力开关来监视 ABS 的工作是否正常，并能进行自诊断。

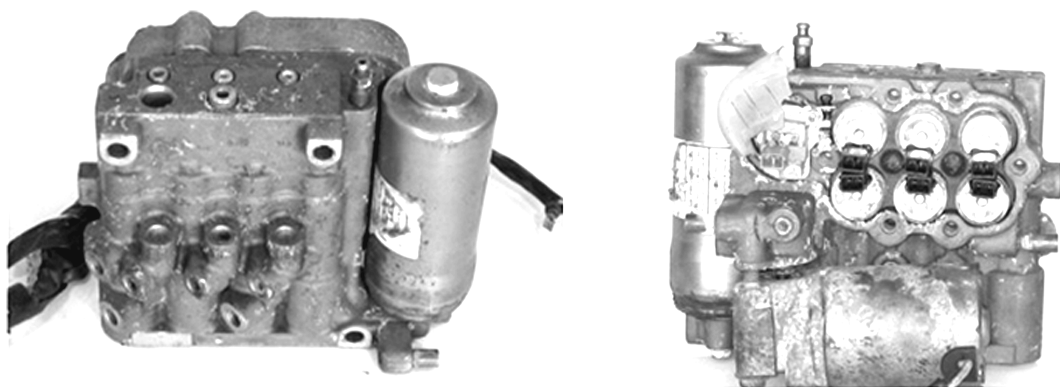


图 2-167 本田可变容积式 ABS 制动液压调节器

基于以上工作原理，考虑到该车每次起动后，ABS 液压泵电动机都运转较长时间，液压泵电动机停止运转则 ABS 灯亮。这说明有两种可能：①初次起动时，ABS 系统油压不足，所以液压泵电动机运转，发动机熄火后接着再起动，液压泵仍需工作，说明前一次液压

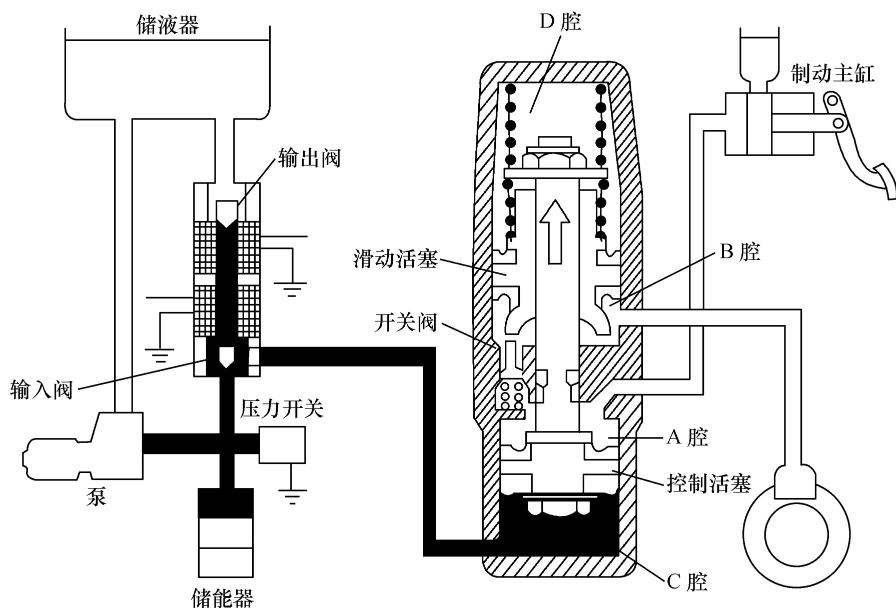


图 2-168　本田 ABS 调节器的 ABS 工作状态

泵工作并没能给系统建立足够的油压，屡次起动皆如此，说明油压不能建立；②压力开关在油压足够高时仍不能接通，ABS ECU 判定油压过低而使液压泵在发动机每次起动后较长时间运转。

为确定是否油压过低，拧开 ABS 液压调节器上的放气螺钉，起动发动机，此时液压泵电动机运转，放气螺钉处只能喷出高度约 30mm 的油柱，液压泵工作一定时间后，再拧松放气螺钉，则几乎无油流出。正常情况下，液压泵能产生高达 20MPa 左右的压力，且有蓄压器，即使液压泵电动机停止运转后，在一定时间内也能保持足够的油压。看来油压过低是肯定的了。

观察储液器，液压泵运转时，回油口不见回油，而进油口反而有反流的现象。问题很可能出在柱塞式液压泵本身的进油阀或柱塞与柱塞套筒上。拆下液压调节器总成，分解柱塞泵，发现进、出油阀的钢球及阀座均已磨损，柱塞上的密封圈也老化了，于是更换柱塞泵组件，直接通电给液压泵电动机，拧开放气螺钉，此时喷出油柱足有 200mm 高，装复后放气，起动发动机，故障排除。

原来，这种 ABS 系统在油压达到标准时，液压泵停止工作；油压过低时，液压泵工作。而工作一定时间后如油压仍不足，ABS ECU 便指令液压泵停止工作，同时将 ABS 灯点亮，警告驾驶员 ABS 系统有故障，应检修。值得庆幸的是后来出厂的装这种 ABS 系统的本田车如果出现这样的故障，一般可以读到故障码 10。

3. 日产公爵 ABS 失效

日产公爵“ANTI-LOCK”灯亮，制动时无 ABS 作用。

该车为 1993 年以前车型，采用三个车轮转速传感器。首先，准备读取故障码，在行李箱一侧找到 ABS ECU，打开点火开关，ABS ECU 上的 LED 灯即闪烁，得故障码“2”，为右前轮电磁阀系统故障。在 ABS 液压调节器处，测量电磁阀电阻，正常；直接给电磁阀供

电，可听到其动作声音，说明电磁阀无故障；在电脑连接线束端子处测量电磁阀，以确定线路是否良好。这时最好能有系统电路图。不妨先做一下假码，看 ABS 电脑自诊断系统是否良好、可靠。拔下电磁阀插头，发现能读取故障码“1”、“2”、“3”，分别为左前轮、右前轮、后轮电磁阀系统故障；插好电磁阀插头，只显示故障码“2”，说明右前轮电磁阀系统确实存在故障。拔下 ABS ECU 插头，测量 32 号端子与 35 号端子之间的电阻为右前轮电磁阀电阻，正常。由于做假故障，ABS ECU 能立即判断出来，而线路良好，所以故障只能在 ABS ECU 内部右前轮电磁阀的驱动回路上，查 ABS ECU 连接端子接触良好，判断为 ABS ECU 故障。更换 ECU，故障排除。

4. 日产风度轿车制动不灵

一日产风度轿车进厂维修，车主称制动不灵，制动踏板工作行程过大（俗称制动踏板低）。

首先确认车主所述故障现象，如果车主所述，原地踏制动踏板就能感觉到踏板工作行程大，快速放松踏板再迅速踏下，此时制动踏板位置能变高。熄火后，检查制动踏板自由行程，正常。路试，紧急制动，发现有 ABS 作用，但在正常行驶制动特别是高速点刹时制动感觉很差，有点像踩在弹簧上的感觉。根据维修经验，这种故障不是 ABS 电控系统造成，常见原因有：系统有空气、制动总泵不良、系统液压有泄漏、制动软管有鼓包渗漏、摩擦片与旋转件制动间隙过大等。为保险起见，严格按诊断程序先断开 ABS 调节器上的电路插接器，再试车，故障依旧。接着进行排放空气的操作，未发现系统有空气，目视无外部泄漏，制动软管未见鼓包渗漏现象。

该车四个车轮制动器均为盘式，间隙为自动调整，检查制动卡钳，未见松动。检查总泵内部有无密封不良现象，方法是踩住踏板不动，一方面仔细感觉踏板有无下沉感，一方面可叫一助手仔细观察总泵储液罐的液面有无上升（可先把制动液添加至接近加液口边缘，以利观察），当然也可用自制的管接头油堵（用废旧制动管接头用铜焊焊补而成，如图 2-169 所示）将总泵的两出口堵住，排空气后，起动发动机，踩制动踏板，如踏板位置非常高且无下沉感，说明总泵密封良好。此车经用此方法检查，踏板位置几乎在消除自由行程后就不能再踏下了，总泵性能良好。



图 2-169 管接头油堵

此车带 ABS 系统，其液压原理图如图 2-170 所示。分析应是 ABS 液压调节器总成内的输出电磁阀（图 2-170 中的 2）由于机械卡滞等原因有泄漏现象，致使踩制动踏板时高压制动液需充向低压储能器（图 2-169 中的 3），这样就加大了制动踏板工作行程，造成制动不灵。为确诊是不是 ABS 液压调节器总成不良造成，将 ABS 液压调节器总成上的四个出油接口依次堵住，原地踩制动踏板，结果踏板工作行程仍很大，说明故障必在 ABS 液压调节器总成内。由于厂家规定 ABS 液压调节器总成不得进一步维修且无修理包供应，故只得更换总成。更换后，故障排除。

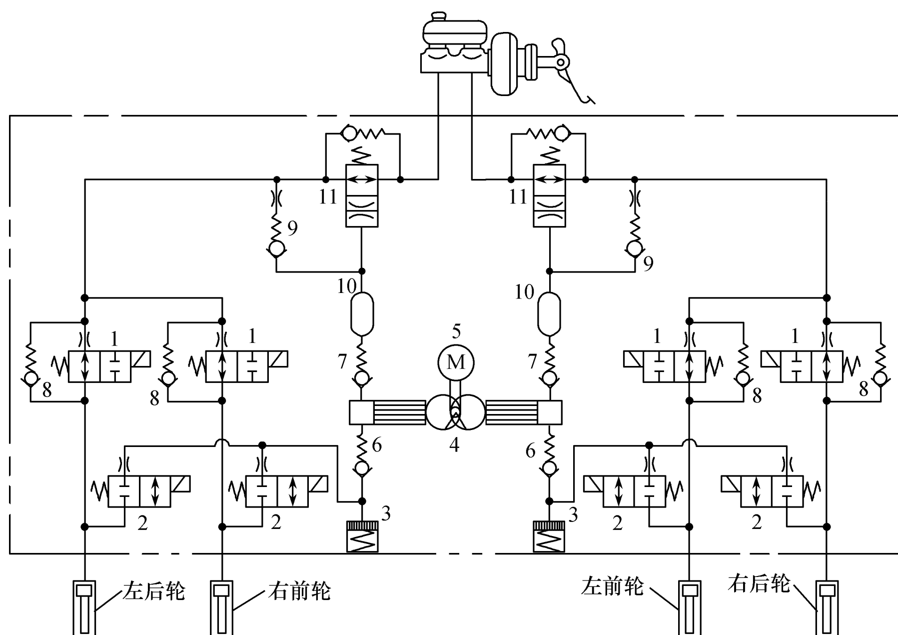


图 2-170　日产风度 ABS 液压原理图

1—输入电磁阀　2—输出电磁阀　3—低压储能器　4—泵　5—电动机　6—输入阀
7—输出阀　8—旁通检查阀　9—检查阀　10—减振器　11—坡度开关

5. 水星左前轮制动拖滞

一水星车进厂维修，车主反映左前轮制动摩擦片磨损较右前轮快，要求做二级维护。检查前制动片，发现左前制动片已磨损至极限，而右前轮制动摩擦片还较厚，看来左前轮有制动拖滞的嫌疑。

初步检查只发现左前轮制动后解除制动慢，其他轮正常，通常为左前制动分泵有卡滞现象，当然不排除左前轮制动管路等故障。

举升汽车，两人配合检查，一人在驾驶室踏、放制动踏板，一人试转动车轮，确定左前轮在放松制动瞬间，不能转动，需过半分钟后才能正常转动。

在放松制动踏板瞬间，迅速松开左前制动分泵放气螺钉，则左前轮马上可以正常转动，说明故障不在制动分泵本身，而是制动分泵的液压不能立即释放。

在放松制动踏板瞬间，拧松 ABS 液压调节器总成至制动分泵的接头，左前轮也马上可以正常转动，这说明左前制动软管没问题，故障在制动总泵至 ABS 液压调节器之间。

拧松 ABS 液压调节器至制动总泵的管接头，左前轮可马上转动，说明故障不在 ABS 液压调节器。

稍拧松制动总泵与真空助力器的固定螺母，再踏、放制动踏板，左前轮仍旧拖滞，说明故障不在制动总泵推杆调整不当。

再次踏、放制动踏板，在放松制动瞬间，用扳手敲击制动总泵前部，左前轮立刻可以转动。

很显然，制动总泵总成（带阀）存在故障。先拆下总泵上的前管路阀清洗，并用压缩空气吹净，装回，故障依旧。

接下来当然是更换制动总泵总成。

可是更换制动总泵总成（带阀）后，故障依旧。又按前述方法重新检查，依逻辑推理仍只可能是制动总泵总成（带阀）不良，且制动总泵上的这个阀是重点故障点，但阀体不能再分解。

对换下来的旧阀体采取破坏性手段拆下阀芯，暂不装，连接好管路，左前轮不再拖滞。说明前述判断是正确的。问题是新总泵存在某种缺陷。

再装上新总泵阀体，故障居然奇迹般消失。反复试验，不再出现。

推测新总泵由于存放太久或本身可靠性稍差造成制动后回油缓慢而使左前轮拖滞，制动片磨损快。在反复拆装和排空气操作中阀体性能恢复正常。此车型这个故障时有发生，且易想当然地认为制动分泵不良造成。遇到此类故障，可按上述方法判断，若只是偶尔发生且拖滞较厉害，应优先考虑制动总泵阀体故障。

6. 帕萨特（1.8T）自动制动的奇特故障

1）故障现象。行驶时车辆左前部有异响。

2）故障诊断。这辆车本来是因自动变速器故障进厂维修的，路试时听到车辆左前部有响声，声音是从制动分泵处传出来的，但此时驾驶员并没有踩制动踏板。开始怀疑是制动分泵发卡引起的，把车辆用举升机举升起来，起动发动机，用手转动左前轮能自由转动，但转到一定转速时，车轮即自动抱死。很明显是ABS系统起作用，控制制动分泵动作制动车轮。为了确认是ABS系统问题还是机械问题，把ABS控制单元插接器拔掉再试，故障不再发生，此时可以确定问题出在ABS系统。用诊断仪进入ABS系统，没有故障码；进入数据流观察四个车轮转速传感器信号，诊断仪显示各车轮转速信号基本一致，也正常。

在没有踩制动踏板的情况下，ABS系统动作制动车轮，问题应该出在车轮转速传感器，可是诊断仪检测却正常，难道是控制单元坏了？此车进厂是检修自动变速器的，需要长时间试车，决定先排除自动变速器故障。第二天继续路试时，车辆行驶几分钟后，ABS故障警告灯突然点亮，故障灯亮时左前轮不再有异响。用诊断仪读出故障码00283（左前轮转速传感器不良），清除以后又出现同样的故障码。拆下车轮转速传感器，发现传感器的磁头已经被齿圈磨平了。拆下右前轮转速传感器检查，传感器的磁头也被磨平了。无奈之下，抱着试试看的心理，在两个车轮转速传感器上各加一个垫片后装回，试车时左前轮不再有异响，ABS工作也正常，故障居然这样排除了。

3）故障总结。前面提到，此车是为检修自动变速器而来，左前轮异响是在路试自动变速器换挡过程中才产生的，在检修过程中存在很多理论上难于解释的地方，以下我们来讨论这些疑点。

① 从车辆进厂时ABS系统正常，到有故障但故障警告灯不亮，最后故障警告灯亮并记忆00283号（左前轮转速传感器不良）的故障码，说明车轮转速传感器的磁头是逐渐被齿圈磨掉的。可是车轮转速传感器磁头为什么会被磨掉呢？有人认为是安装不当造成传感器与齿圈的间隙太小了。但是拆装过这种车的车轮转速传感器的人就会知道。传感器是直接插到安装孔的，间隙不能调整。还有人认为是因为车轮转速传感器太长了（不是原装的）而磨到。经过检查这一传感器和询问车主，传感器是原装的。最后意见比较统一的是轴承松旷引起齿圈窜动而磨到磁头。但两个前轮都这样啊，两边轴承同时松旷概率也太小了！因为此车不久前发生过交通事故，所以认为这和车辆前部受到撞击有关。

② 既然两边的车轮转速传感器磁头都磨掉，为什么故障只出现在左前轮，故障码也只有左前轮转速传感器不良，事实上右边磨损比左边更厉害。本人认为，左边磨损不严重，产生的信号对控制单元反而不正常，认为左前轮转速过快了，于是对左前轮施加压力（而不是释放压力），控制左前轮分泵制动引起异响。

③ 当故障最初出现时故障灯不亮，用诊断仪检测也没有 ABS 系统故障码（后来故障灯亮，ABS 不起作用时故障就不出现了）。可是诊断仪显示四个车轮转速传感器的信号也正常，ABS 控制单元在驾驶员没有踩制动时为什么制动左前轮。最后结果证明，ABS 控制单元没问题，只好勉强把责任推给诊断仪——数据流不准确。可惜当时没有示波器，否则从波形应该能看出来问题。

④ 在没有纯正配件的情况下，加装了一个垫片，两个只剩一点残留的磁铁的传感器居然能产生正常的信号使故障排除。

⑤ 检修过程中，把车辆用举升机举升起，变速器在 N 位，用手转动车轮也有左前轮自动制动的现象。此时车辆没行驶，驾驶员也没踩制动踏板，车轮也只有左前轮在转动，而 ABS 控制单元却把左前轮制动了。

实际修车工作中经常遇到这类“理论不能解释实际”的问题，大多是技术人员理论水平不足，或诊断设备不准确造成，也有可能是检测方法错误而得到错误的结果。还有可能是因条件所限没有找到故障的真正原因。

7. 宝来 1.8T ESP K155 报警灯常亮

一辆 2004 年产的宝来 1.8T 手动挡轿车，行驶里程为 2.3 万 km。根据车主讲述，此车曾被朋友借用 1 天，送回后隔了 1 天，发现仪表板 K155 报警灯点亮。

连接 V.A.S5051 诊断仪，进入地址 03，查询故障码为 00778，故障码含义为转向盘转角传感器 G85 损坏。一般来说，转角传感器本身有损坏的可能性，但应不会太大。本着由简至繁的原则，首先决定对此车的转向系统进行基本检查。

在检查过程中，发现此车的转向拉杆有一侧已经弯曲变形。将弯曲的转向拉杆更换，并经四轮定位调试后，用仪器清除故障码，结果清除不掉。这时根据 V.A.S5051 更换转向盘转角传感器 G85 后进行零点平衡的方法，用比维修手册略微简单一点的方法使用仪器直接进入 03－09－004 组 1 区，将转向盘转到 0.00 后，退出，进入 11 登录。输入 40168 后进行基本设定 04－060 后退出，K155 报警灯熄灭。后经电话回访，车辆使用正常，故障彻底排除。

此车产生 00778 故障码的原因，是由于外力造成转向拉杆左右侧的单边前束不正确。在直线行驶过程中，转向盘转角传感器偏向一侧，偏离 G85 初始化的零点位置。ESP 控制单元因转向盘转角传感器和横向加速度传感器反馈的数据始终不能对应，认为转向盘转角传感的位置存在问题，于是点亮 K155 报警灯，存储故障码 00778。

后来分析，如果此车当时查不出转向拉杆弯曲，而直接更换 G85 并用仪器进行零点平衡，当时的 K155 报警灯也会熄灭。但行驶一段时间后，报警灯会再次点亮，造成返修。在这里提醒大家在以后的工作中如遇 00778 故障码，应首先检查转向系统本身是否有故障（如转向拉杆弯曲，两侧拉杆调整不当等），以免给用户和自己都造成不必要的麻烦。

8. 2005 款皇冠 3.0 轿车 ABS 故障灯报警

1）故障现象。一辆 2005 款皇冠 3.0 轿车，行驶 75000km。车速在 100km/h 以上时

ABS 故障灯、VSC/TRC/EPS 故障灯、轮胎气压灯报警。

2）故障诊断。接上丰田专用诊断仪调取故障码，ABS 系统故障码显：①左前车轮转速传感器故障，②右前车轮转速传感器故障。VSC 车辆稳定系统和 TRC 防滑牵引系统的故障码为：ABS 控制系统故障。EPS 电动转向系统故障码显示，无车速信号输入。

清除故障码，ABS 系统左前轮转速传感器和右前车轮转速传感器故障码无法清除，清除 ABS 控制系统故障码后，ABS 系统的两前车轮转速传感器故障码可以清除，然后清除 EPS 电动转向系统故障码。笔者发现所有故障显示都与车轮转速传感器有关，将诊断仪 ABS 系统数据流调出后，进行路试，低速时两前车轮转速传感器数据正常，ABS 系统工作正常，车速信号输入正常，高速时数据显示正常，车速到 110km/h 时突然 ABS 故障灯、VSC/TRC/EPS 故障灯、轮胎气压灯报警。笔者发现故障和车速有直接关系，车速信号是通过 ABS 控制单元取自车轮转速传感器，上述故障都和车轮转速传感器有关系。把车开回厂内检查，将车辆举起检查两前车轮转速传感器线束插头，牢固无损伤，转动车轮，诊断仪上数据流显示 0～10km/h 信号反应灵敏，左右和前后车轮转速传感器输入信号无异常。但是此车底盘有明显的碰撞痕迹。此车的车轮转速传感器为内置一体式（轴承和传感器密封在一起），于是检查左右轮轴承上的配件编号，发现编号相同。查找皇冠维修手册，此车前轮轴承有左右之分。传感器是新式磁阻元件。当车轮向后转动时传感器输出电压 3.6V，当车辆向前转动时传感器输出电压 2.5V，ABS 控制单元根据传感器的电压，检测车轮向前和向后转动。由于人为原因把右前轴承更换为左前轴承，使 ABS 接收错误信号，车辆低速时未报警，车辆高速时左右轮速输入无法同步，控制单元误诊为系统故障，无法输出车速信号，造成相关系统报警。更换后故障排除。

3）故障总结。维修时应考虑到此车 ABS 系统的扩展功能——上坡制动辅助功能。当变速杆位于 D 位时，如车辆在上坡时溜车（车辆相当于倒车，轴承向后旋转），轮速信号输入至 ABS 系统 3.6V 的电压信号，系统实施制动，防止车辆溜车，所以轴承有左右之分。

应充分了解此车使用状况，此车在上次事故中更换过右前轴承，由于人为原因忽略前轮轴承有左右之分，错误更换，造成本次故障。

9. 北京现代途胜 SUV 行驶中出现自行制动故障

1）故障现象。一辆 2007 年产北京现代途胜 2.0 L 手动挡 SUV，行驶里程 2 万 km。据用户反映，该车在正常行驶中有时会出现自制动现象，严重时下坡路况甚至无法空挡滑行，此故障通常在热车后出现。

2）检查分析。该车配备 ABS 系统和 TCS 牵引力控制系统。首先使用故障诊断仪进行检测，各系统无故障码存储，发动机控制系统也正常，据此初步判断故障在机械或液压部分，也不排除电路原因造成 ABS 系统误动作的可能。接下来对制动系统进行基本检查，制动钳、制动总泵以及制动分泵动作灵活，无制动后释放迟滞现象，更换制动液并按要求排气，进行路试时偶尔还会出现自制动现象。由于机械及油路部分结构比较简单，检查后确认无问题，因此检查重点应该放在查找 ABS 系统误动作的原因上，特别是各车轮转速信号的误触发，这应该可以从 ABS 系统数据流中发现异常。

用举升机将车辆举起，挂挡使车轮转动，使用故障诊断仪观察 ABS 系统数据流。反复试车直到故障出现时，诊断仪显示的车速数据突然变为 0，4 个轮速信号也变为 0，偏摆率信号正常，此时发动机声音突然变化，车轮停止转动。由此判断，是输入 ABS 控制单元的车速信号

不良引起故障。为进一步确认，对照电路图（图 2-171）对输入 ABS 控制单元的车速信号线路进行检查，在检查中发现当摇动右前侧 A 柱下的插头时，车速数据时有时无，故障也同时出现，认为由于此插头中车速传感器线路接触不良引起了故障。对照线路图将相应插头挑出检查，发现插头接触弹片被压变平失去弹性，有时抖动会造成接触不良，车速信号中断。

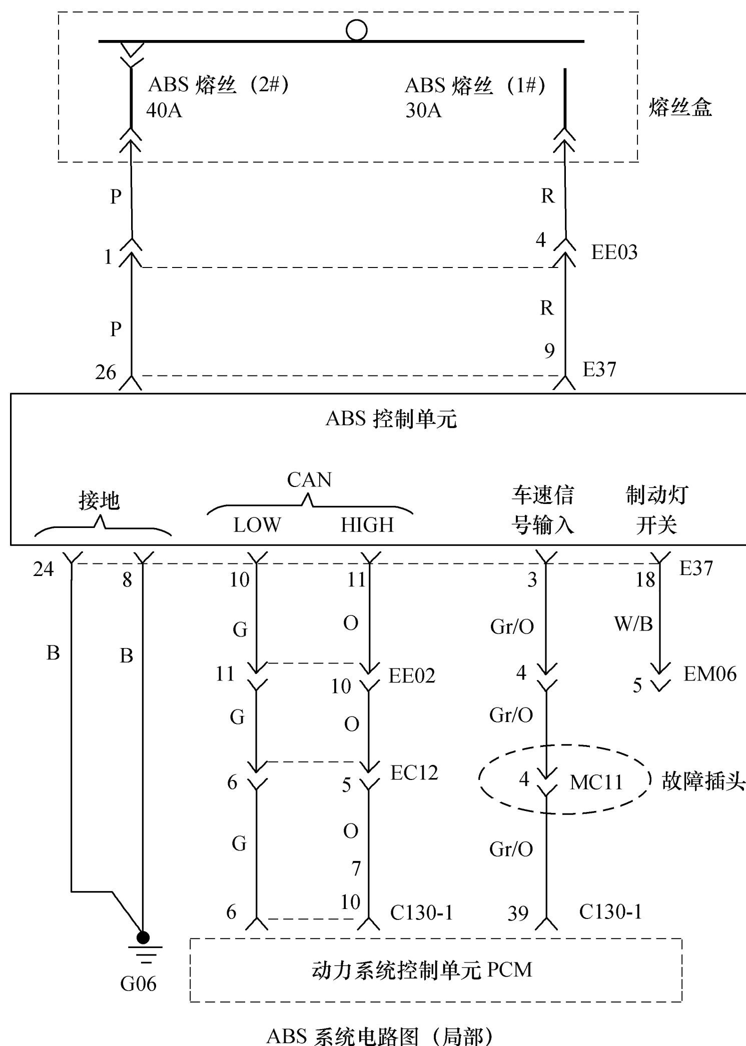


图 2-171　现代途胜 ABS 电路图（局部）

3）故障排除。将插头弹片向上挑起，重新处理后插好插头试车，摇动插头时故障也不再出现，故障排除。

4）回顾总结。由于 ABS 控制单元的输入车速信号不正常，接触不良时输入信号为 0km/h，轮速信号大于车速信号，滑移率超过设定值，控制单元判断车辆处于打滑状态，引起控制单元启动 TCS 工作。TCS 工作时，根据滑移率控制车轮制动力，控制降低车轮转速，以便轮胎形成更大附着力，从而增加牵引力矩，这样便形成一定制动力。由于控制过程无逻辑和部件不良，且故障发生过程很短，未达到故障码存储的条件，这也给维修判断工作造成了困难。

第三章　底盘其他系统故障诊断与分析

一、双离合器直接换挡变速器

1. 概述

DSG 的英文全称是 Direct-Shift Gearbox，中文表面意思为“直接换挡变速器”。双离合器直接换挡变速器使用双多片式离合器，且使用不同的换挡程序自动换挡，所以它可满足喜欢自动变速器的驾驶员对舒适性的较高要求。另外，由于这种变速器可直接换挡且换挡极为迅速又无冲击，它还能提供手动变速器的驾驶乐趣。与此同时，燃油消耗却与配有手动变速器的车相当。双离合器直接换挡变速器外形、结构如图 3-1、图 3-2 所示。

大众公司的直接换挡变速器有如下特点：

1）具有 6 个前进挡和 1 个倒挡。

2）具有正常的行驶程序“D”、运动行驶程序“S”以及变速杆和转向盘上的 Tiptronic（选装）三种行驶程序。

3）机械电子装置、电子和电动液压控制单元构成一个整体装在变速器内。

4）具有爬行调节功能。该功能可以使得车辆在进入车位停车时在不踩加速踏板的情况下而缓慢走动（爬行）。

5）具有应急运行模式。在应急状态时，根据出现的故障情况只能使用 1 挡和 3 挡或只能使用 2 挡行车。

双离合器直接换挡变速器主要由传动机构、换挡机构、电子-液压控制系统组成。

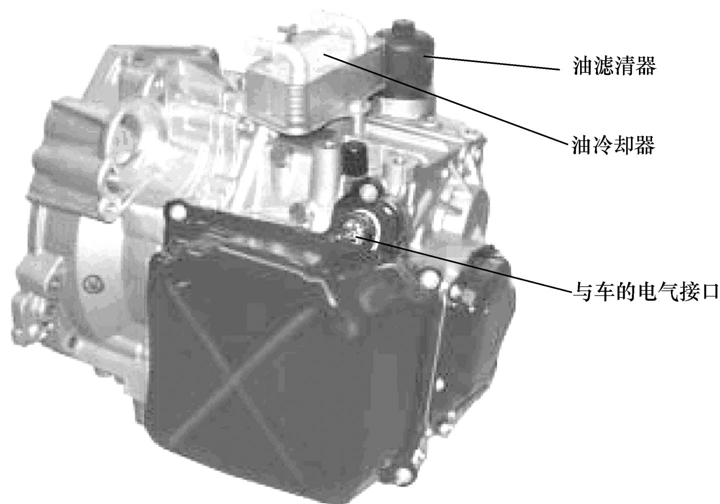


图 3-1　双离合器直接换挡变速器外形

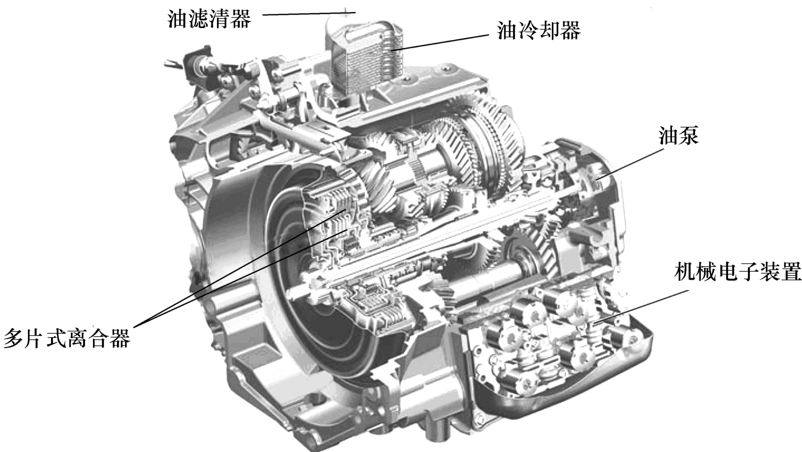


图 3-2　双离合器直接换挡变速器结构

2. 双离合器直接换挡变速器的传动机构

（1）双离合器直接换挡变速器传动机构的基本原理　直接换挡变速器主要由两个彼此相互独立的传动机构组成。

每个传动机构的结构与手动变速器是相同的。每个传动机构配备一个多片式离合器。这两个多片式离合器浸在 DSG 油中工作，它们根据将要挂入的挡位来进行调节、分离以及接合。多片式离合器 K1 负责切换到 1、3、5 和倒挡，可称为 1、3、5、倒挡离合器。多片式离合器 K2 负责切换到 2、4、6 挡，可称为 2、4、6 挡离合器。总是有一个传动机构在传递动力，而同时另一个传动机构已经挂上了某个挡，只是这个挡位的离合器没有接合而已。

每一个挡位都配有传统手动变速器上的同步装置和换挡机构。

直接换挡变速器传动机构的结构如图 3-3 所示。

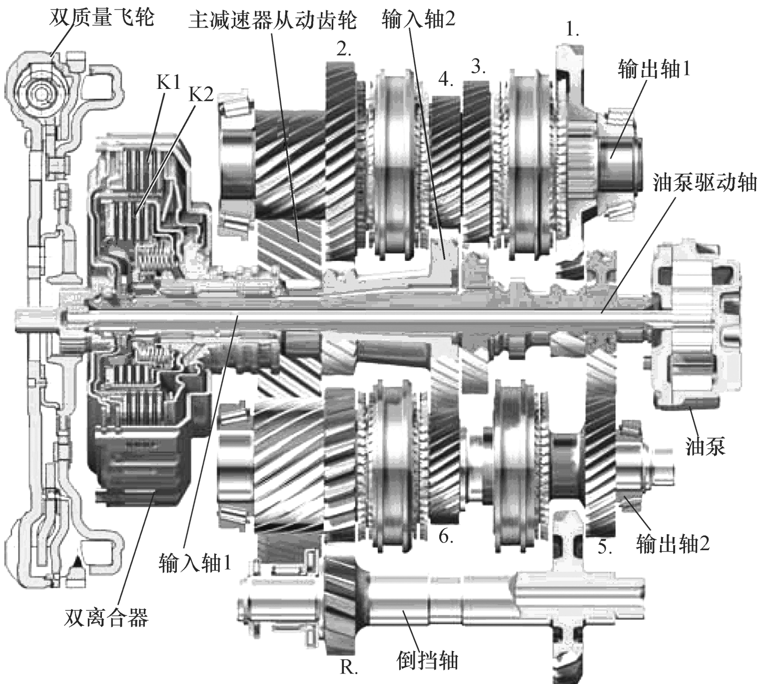


图 3-3　双离合器直接换挡变速器传动机构的结构

转矩由曲轴到达双质量飞轮。双离合器输入轴毂上的双质量飞轮花键会将转矩传到多片式离合器的主动盘片上。

主动盘片通过离合器 K1 的外片支架与离合器的主毂联在一起。离合器 K2 的外片支架也与主毂联在一起来传递动力。

双离合器直接换挡变速器传动机构传动路线示意图如图 3-4 所示。

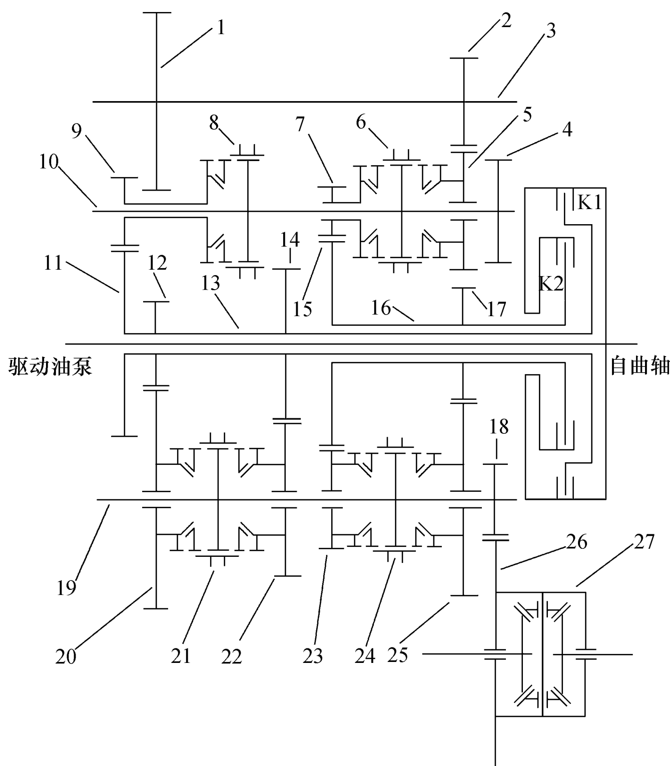


图 3-4　双离合器直接换挡变速器传动路线示意图

1—倒挡齿轮（与输入轴 1 倒挡齿啮合）　2—倒挡齿轮（与输出轴 2 倒挡齿轮啮合）　3—倒挡轴　4—输出轴 2 输出齿轮（与主减速器从动齿轮啮合）　5—输出轴 2 倒挡齿轮　6—6/倒挡同步器　7—输出轴 2　6 挡齿轮　8—5 挡同步器　9—输出轴 2　5 挡齿轮　10—输出轴 2　11—输入轴 1　5 挡齿轮　12—输入轴 1　1/倒挡公用齿轮　13—输入轴 1　14—输入轴 2　3 挡齿轮　15—输入轴 2　4/6 挡公用齿轮　16—输入轴 2　17—输入轴 2　2 挡齿轮　18—输出轴 1 输出齿轮（与主减速器从动齿轮啮合）　19—输出轴 1　20—输出轴 1　1 挡齿轮　21—1/3 挡同步器　22—输出轴 1　3 挡齿轮　23—输出轴 1　4 挡齿轮　24—2/4 挡同步器　25—输出轴 1　2 挡齿轮　26—主减速器从动齿轮　27—差速器　K1—1、3、5、倒挡离合器　K2—2、4、6 挡离合器

（2）双离合器直接换挡变速器传动机构的主要部件

1）多片式离合器。转矩经外片支架被引入相应的离合器。当离合器接合时，转矩就被传递到内片支架上，也就是传递到相应的输入轴上。总是有一个多片式离合器在传递动力。

① 多片式离合器 K1。离合器 K1 是一个多片式离合器，可将转矩传递到 1、3、5 和倒挡的输入轴 1 上。要想使这个离合器接合，必须要将 DSG 专用油压入离合器 K1 的油压力腔内。于是活塞 1 就开始移动，这就使得离合器 K1 的片组压靠在一起，如图 3-5 所示。

转矩经内片支架的片组传递到输入轴 1 上。当离合器分离时，碟形弹簧将活塞 1 又压回到初始的位置。

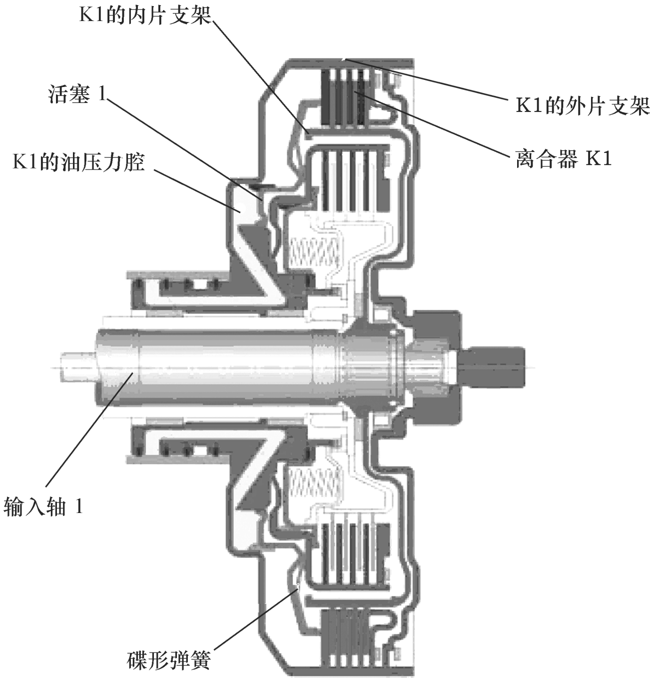


图 3-5　多片式离合器 K1

② 多片式离合器 K2。离合器 K2 是一个多片式离合器，可将转矩传递到 2、4、6 挡的输入轴 2 上。要想使得这个离合器接合，必须要将油压入离合器 K2 的油压力腔内。于是活塞 2 就通过这个片组将动力传递到输入轴 2 上，如图 3-6 所示。螺旋弹簧在离合器分离时将活塞 2 压回到初始的位置。

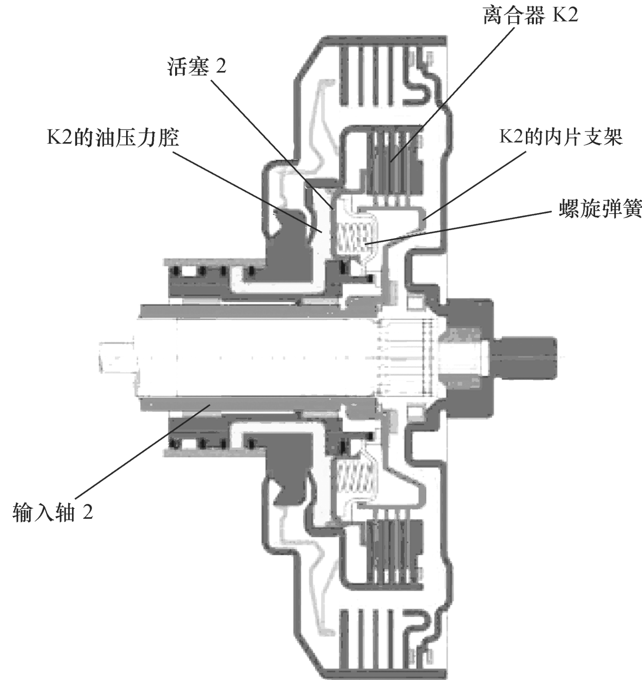


图 3-6　多片式离合器 K2

2）输入轴。发动机转矩由多片式离合器 K1 或 K2 传递到输入轴。

① 输入轴 2。因安装位置的关系，图示的输入轴 2 放在输入轴 1 前，如图 3-7 所示。

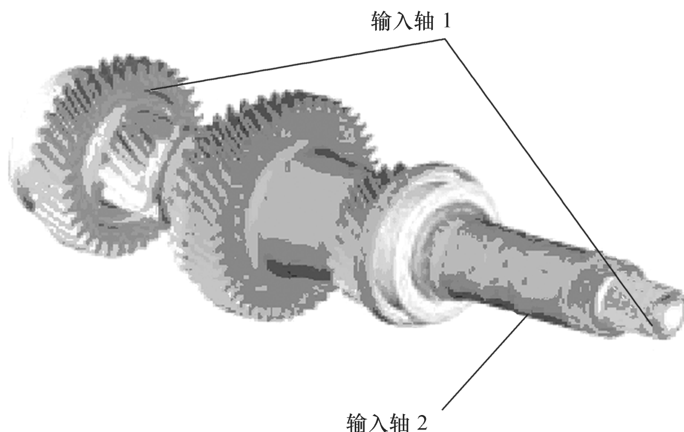


图 3-7 输入轴 1 与输入轴 2 的位置关系

如图 3-8 所示，输入轴 2 被制成空心的，它通过花键与多片式离合器 K2 连接在一起。输入轴 2 上有用于 6、4、2 挡的斜齿齿轮。6 挡和 4 挡使用同一个齿轮。为了能获知转速，该轴的 2 挡齿轮旁装有一个靶轮，这个靶轮用于输入轴 2 的转速传感器 G502。

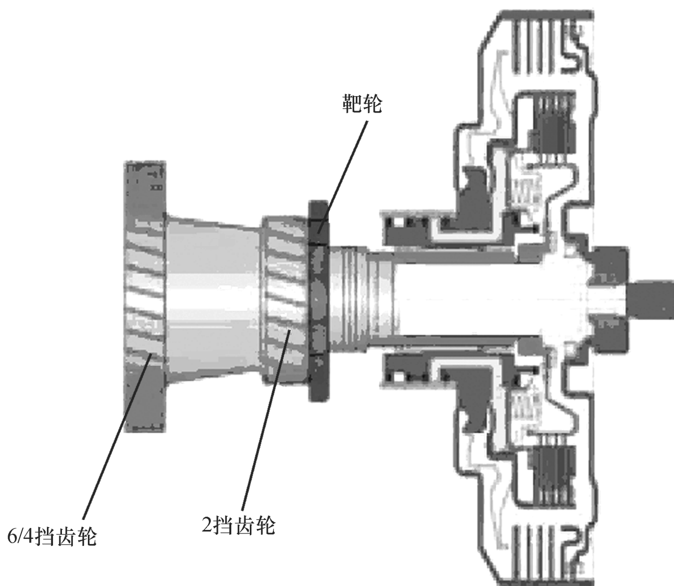


图 3-8 输入轴 2

② 输入轴 1。输入轴 1 在中空的输入轴 2 内转动，它通过花键与多片式离合器 K1 相连。输入轴 1 上有 5 挡齿轮、1 挡和倒挡公用齿轮和 3 挡齿轮。为了能获知该轴转速，在 1/倒挡齿轮和 3 挡齿轮之间安装了一个靶轮，该靶轮用于输入轴 1 的转速传感器 G501，如图 3-9 所示。

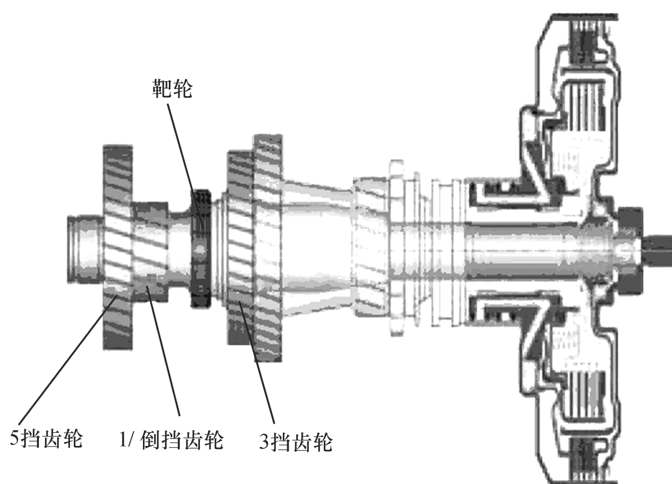


图 3-9　输入轴 1

3）输出轴。双离合器直接换挡变速器有两根输出轴。

如图 3-10 所示，输出轴 1 上有用于 1、2、3 挡的常啮合齿轮及它们的三联同步器；用于 4 挡的常啮合齿轮及单联同步器；输出轴 1 输出齿轮。输出轴 1 输出齿轮即主减速器主动齿轮，与差速器中的主减速从动齿轮啮合。

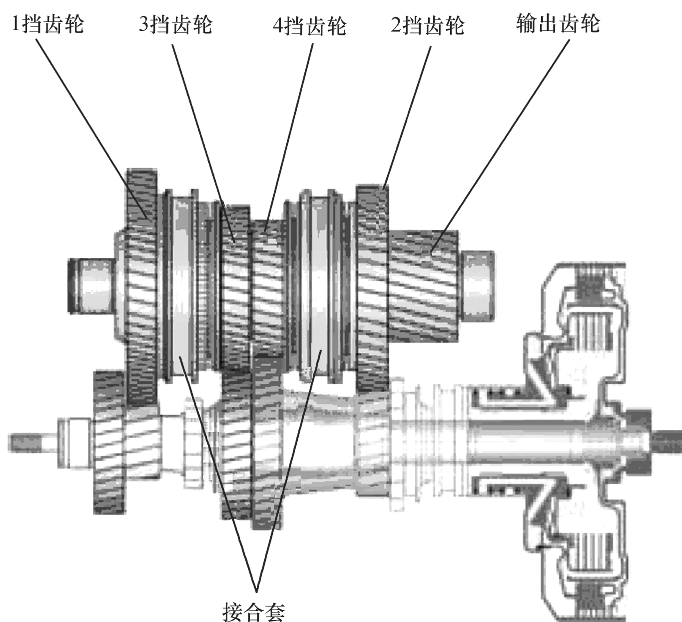


图 3-10　输入轴 1

如图 3-11 所示，输出轴 2 上有测量变速器输出转速的靶轮；5、6、倒挡的齿轮及同步器；输出轴 2 输出齿轮。输出轴 2 输出齿轮同样用于与差速器中的主减速器从动齿轮啮合，将转矩传递到差速器。

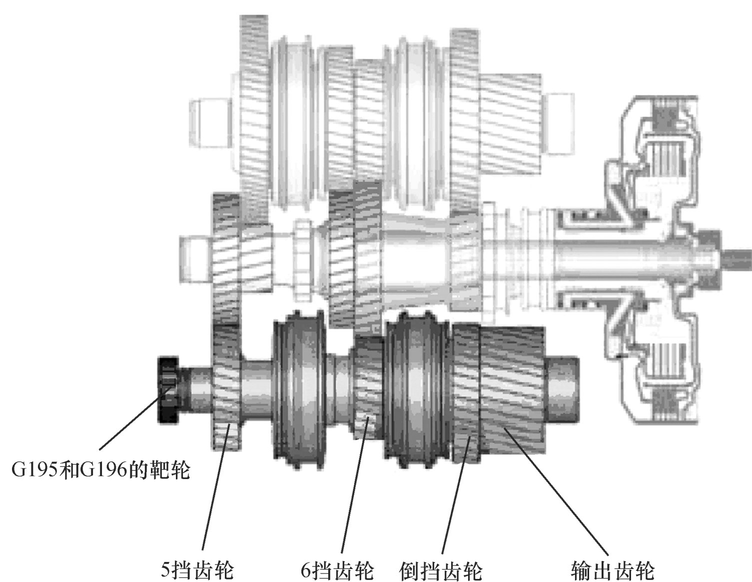


图 3-11 输出轴 2

4）倒挡轴。倒挡轴如图 3-12 所示，其上共有两个齿轮，大齿轮与输入轴 1 上的 1/倒挡公用齿轮啮合。小齿轮与输出轴 2 上的倒挡齿轮啮合。

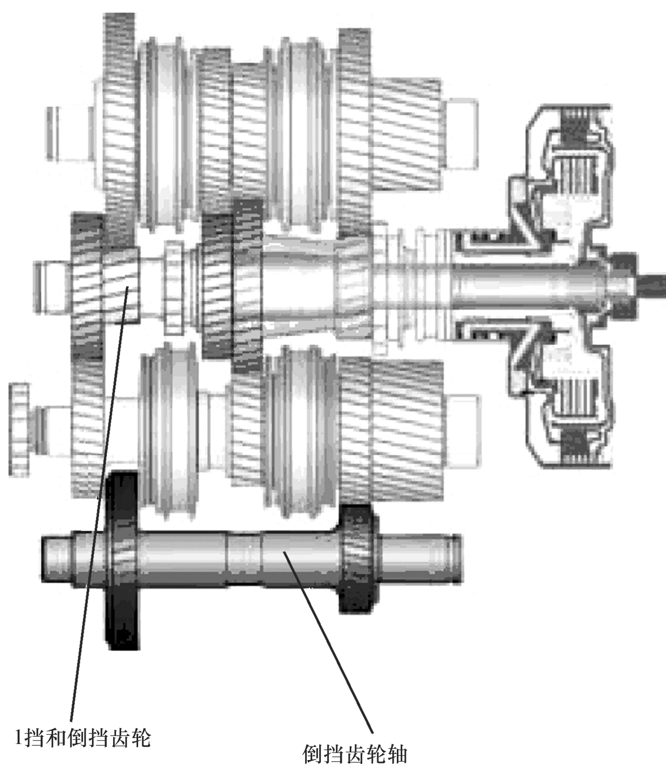


图 3-12 倒挡轴

5）差速器

两个输出轴将转矩传递到差速器的输入齿轮上。差速器将转矩经传动轴传递到车轮。差速器内集成有驻车锁齿轮。

双离合器直接换挡变速器输入轴、输出轴、倒挡轴、差速器总成在变速器内的实际空间位置关系（安装位置）如图 3-13 所示。

图 3-14 为四轮驱动车辆上的直接换挡变速器内部结构。

6）驻车锁。差速器内集成了一个驻车锁，参见图 3-13。该锁可在没有拉紧驻车制动器的情况下，使得车辆能可靠驻车而不溜车。止动爪以纯机械方式工作，它通过变速杆和变速器上驻车锁杠杆之间的一条拉索来工作。该拉索只用于操纵驻车锁。

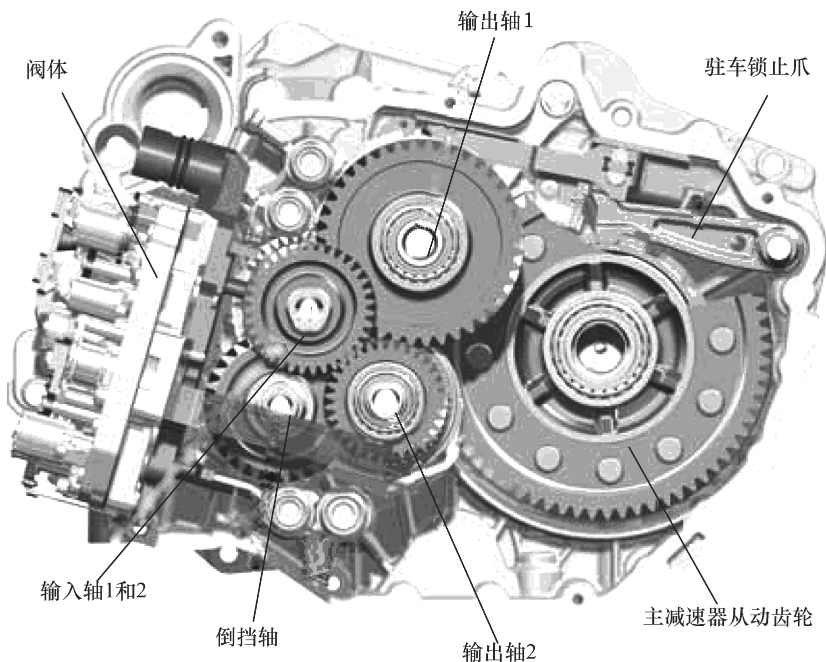


图 3-13　双离合器直接换挡变速器各轴的实际安装位置关系

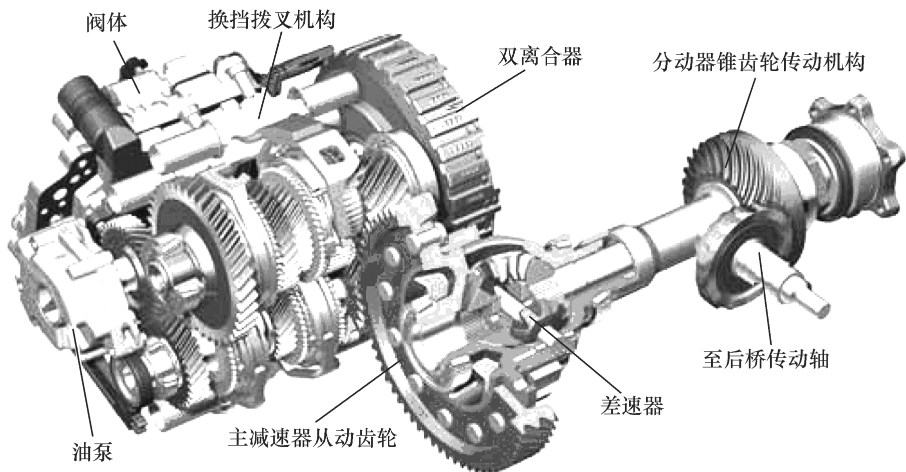


图 3-14　四轮驱动车辆上的直接换挡变速器内部结构

7）同步器。要想挂上某一挡位，必须将接合套推到滑动齿轮的齿上。同步器的任务是：使将要换挡的齿轮与接合套同步转动。镀钼的黄铜同步环是同步器的基本元件。

1、2、3 挡配备三联同步器。与单联圆锥同步器相比，这种三联式结构可显著增大摩擦面。由于摩擦面增大了，所以同步器的效率就提高了。

三联同步器的结构如图 3-15 所示，主要由外环（同步环）、中间环、内环（第二个同步环）和其所在挡位齿轮上的摩擦圆锥组成。

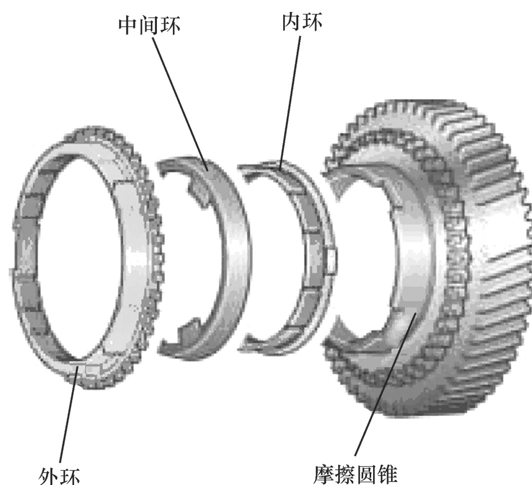


图 3-15　三联同步器的结构

低挡位时，不同齿轮之间较大的转速差很快就消除了，只需用较小的力就可挂入下一个挡位。4、5、6 挡使用的是单联同步器。这几个挡位的换挡转速差不大，转速的同步很快就可完成，换挡也不需要很大的力。倒挡使用的是双圆锥同步器。

单联同步器由同步环与其挡位齿轮上的摩擦圆锥组成，如图 3-16 所示。

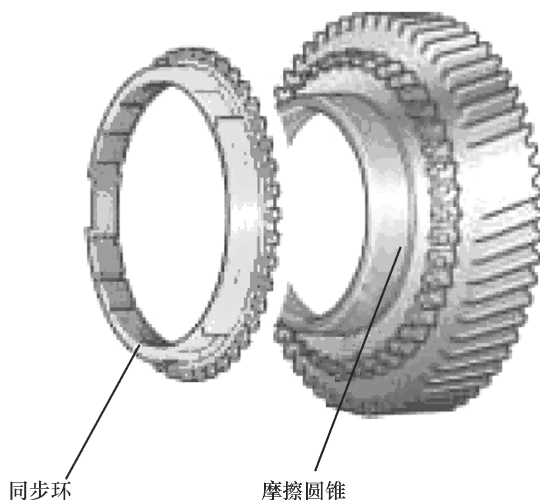


图 3-16　单联同步器的结构

（3）各挡位的动力传递路线　变速器内的转矩或者通过外离合器 K1 来传递，或者通过内离合器 K2 来传递。每个离合器驱动一个输入轴。输入轴 1（内）由离合器 K1 来驱动。输入轴 2（外）由离合器 K2 来驱动。转矩再通过输出轴 1（用于 1、2、3、4 挡）或输出轴 2

(用于 5、6 和倒挡) 传递到差速器。

1) 1 挡的动力传递路线。离合器 K1 ⟶输入轴 1 ⟶输出轴 1 ⟶差速器，如图3-17所示。

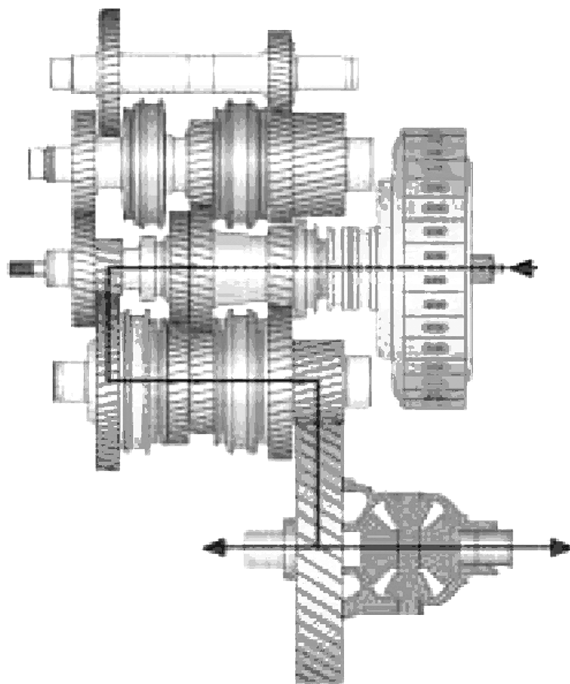


图 3-17　1 挡的动力传递路线

2) 2 挡的动力传递路线。离合器 K2 ⟶输入轴 2 ⟶输出轴 1 ⟶差速器，如图 3-18 所示。

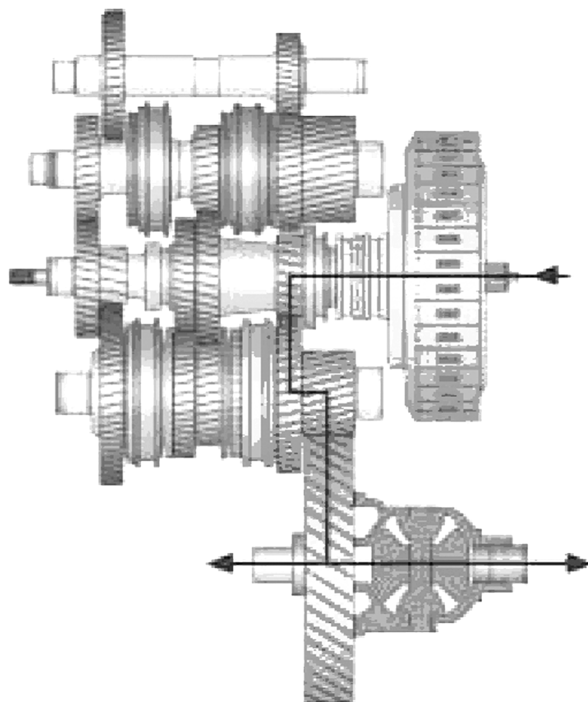


图 3-18　2 挡的动力传递路线

3）3 挡的动力传递路线。离合器 K1 ⟶输入轴 1 ⟶输出轴 1 ⟶差速器，如图 3-19 所示。

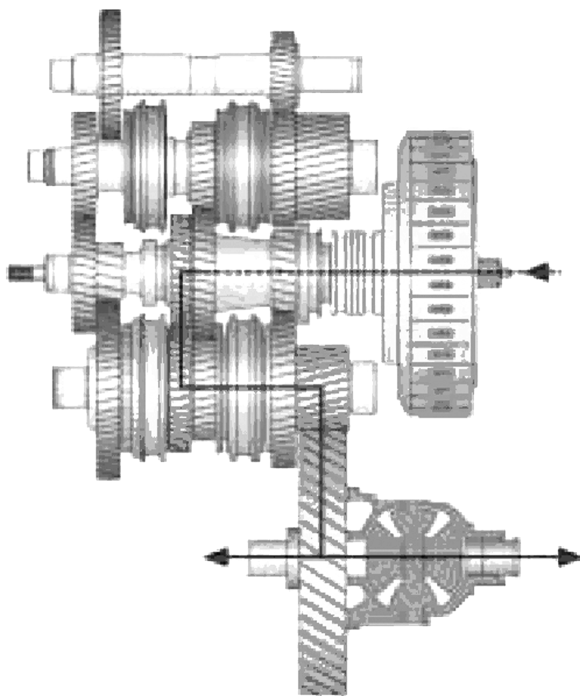


图 3-19 3 挡的动力传递路线

4）4 挡的动力传递路线。离合器 K2 ⟶输入轴 2 ⟶输出轴 1 ⟶差速器，如图 3-20 所示。

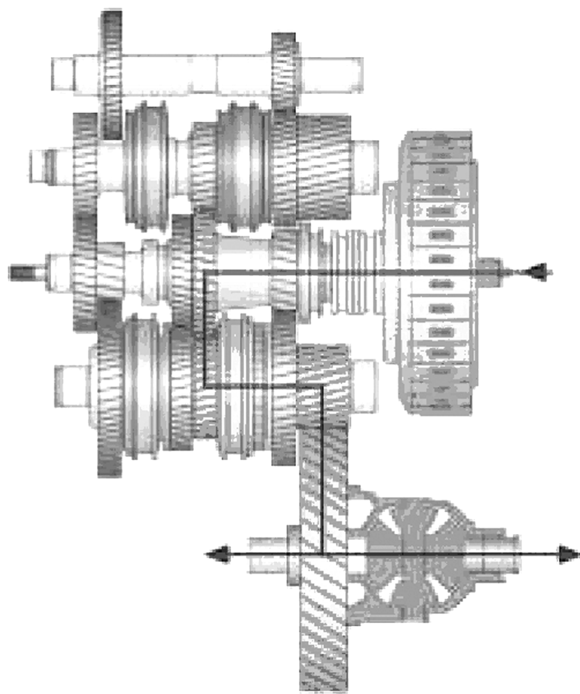


图 3-20 4 挡的动力传递路线

5）5 挡的动力传递路线。离合器 K1 ⟶ 输入轴 1 ⟶ 输出轴 2 ⟶ 差速器，如图 3-21 所示。

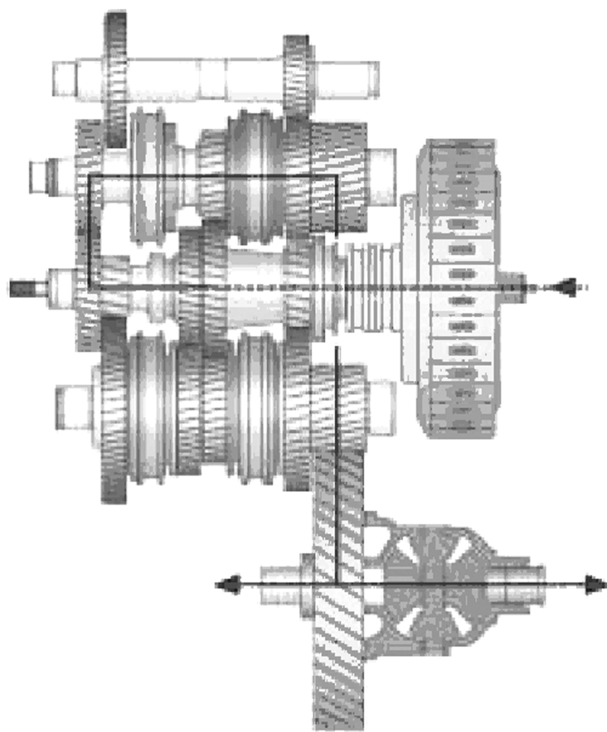


图 3-21　5 挡的动力传递路线

6）6 挡的动力传递路线。离合器 K2 ⟶ 输入轴 2 ⟶ 输出轴 2 ⟶ 差速器，如图 3-22 所示。

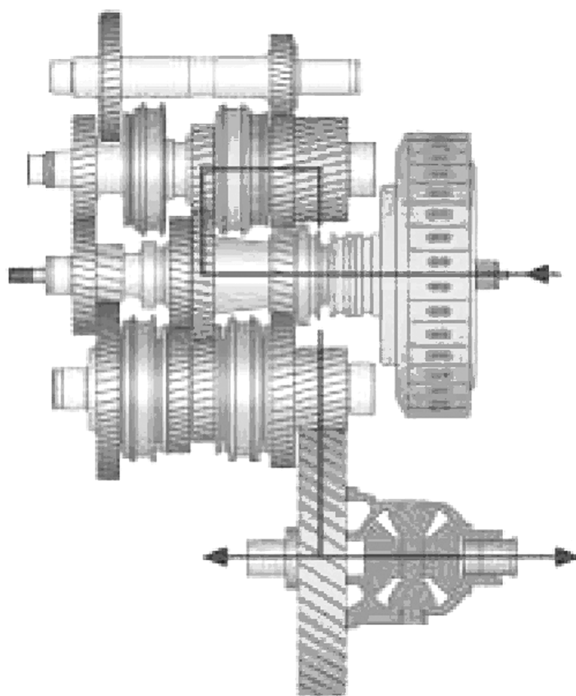


图 3-22　6 挡的动力传递路线

7）倒挡的动力传递路线。离合器 K1 ⟶输入轴 1 ⟶倒挡轴⟶输出轴 2 ⟶差速器，如图 3-23 所示。

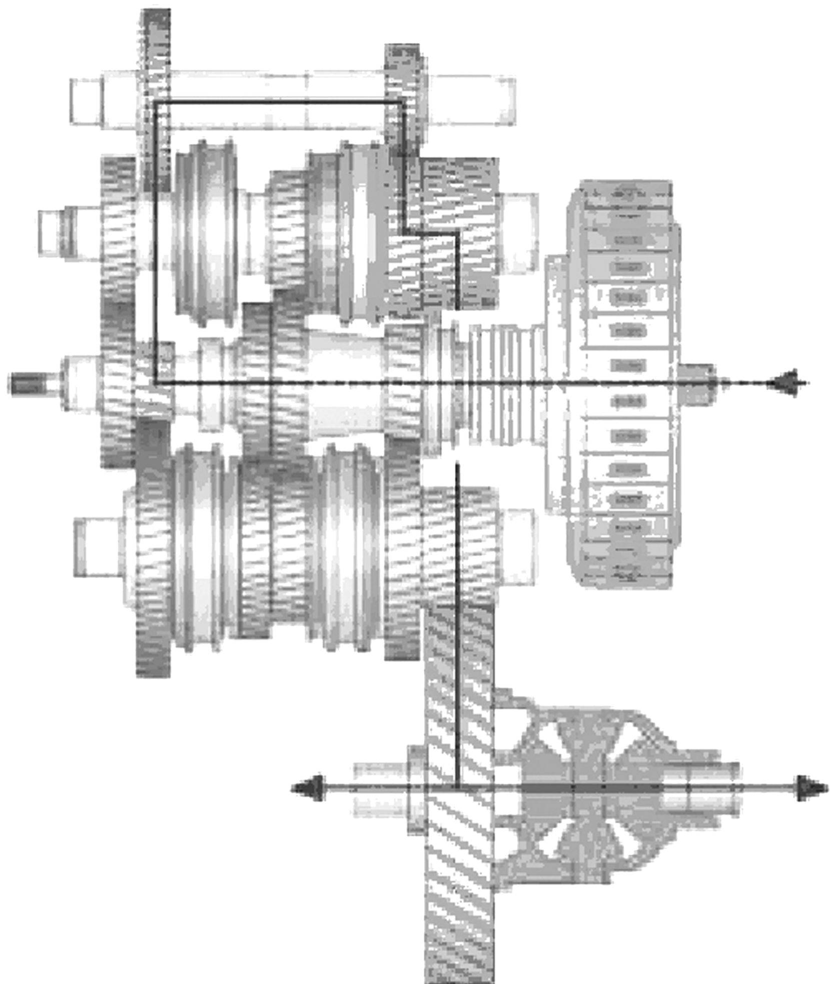


图 3-23 倒挡的动力传递路线

3. 换挡机构

直接换挡变速器换挡与普通的手动变速器一样，也是采用换挡拨叉。一个拨叉可控制两个挡位。变速器内共有四个拨叉，如图 3-24 所示。

直接换挡变速器上的拨叉是采用液压方式来操纵的，不像普通手动变速器那样采用的是换挡拉杆或摇臂。如图 3-25 所示，换挡拨叉装在一个液压缸中的球轴承上。换挡时，来自机械电子装置的液压油被引到液压缸的左侧，由于液压缸右侧无压力，换挡拨叉就会移动，从而带动接合套，于是就挂上了挡。挡位挂上后，换挡拨叉又切换到无压力状态。挡位通过换挡齿轮的倒角和换挡拨叉上的锁止机构保持在这个位置上。如果没有操纵换挡拨叉的话，那么换挡拨叉就由一个安装在变速器内部的锁止机构保持在空挡位置。

每个换挡拨叉上都有一个永久磁铁，机械电子装置内的位移传感器通过这块磁铁来识别各个换挡拨叉的准确位置。

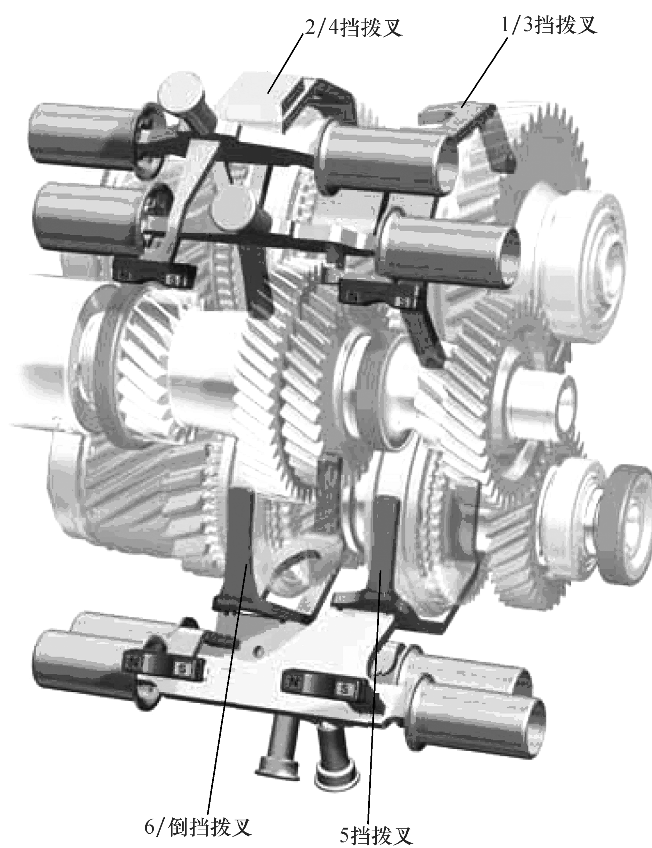


图 3-24　直接换挡变速器上的换挡机构

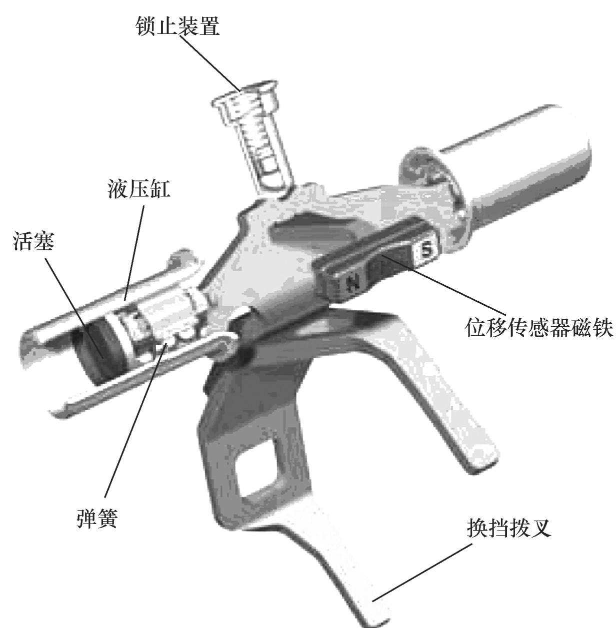


图 3-25　换挡拨叉的结构

4. 电子-液压控制系统

(1) 机械电子装置(机械电子模块) 机械电子装置(图 3-26)装在变速器内并浸在 DSG 油中。该装置由一个电子控制单元和一个电动液压单元构成。机械电子装置是变速器的中央控制单元,所有传感器信号和其他控制单元的信号都汇集到这里并由这里去执行并监控。这个小巧的机构中有 12 个传感器,只有两个传感器布置在机械电子装置的外面。机械电子装置以液压方式通过 6 个压力调节阀和 5 个换挡阀来控制和调节 8 个挡位调节器。还控制两个离合器的冷却油压力和流量。机械电子装置中的控制单元会学习(匹配)离合器的位置、挂挡时挡位调节器的位置以及主压力。

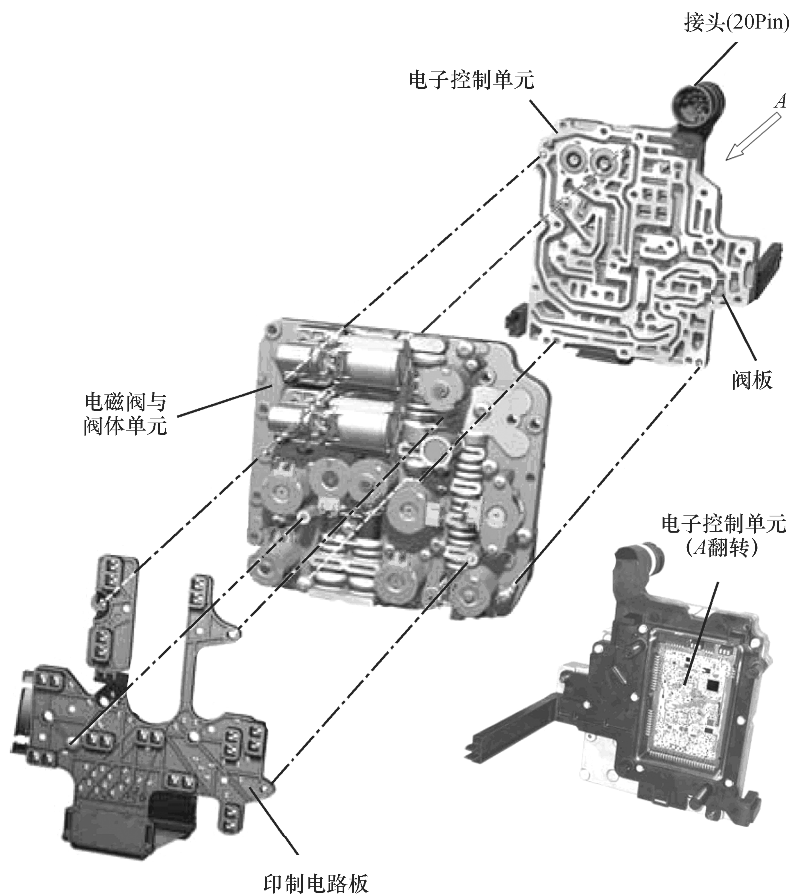


图 3-26 机械电子装置总成

优点:大部分传感器都集成在其内部;电动执行元件直接装在机械电子装置上;与车通过一个中央插头来连接,减少了插头和导线的数量,从而提高了电气方面的可靠性并降低了重量。

但这也意味着控制单元的热负荷和机械负荷都很大,它必须能够承受－40～＋150℃这样的温度以及高达 33g(g 为重力加速度)的机械振动。

(2) 电动液压单元 电动液压单元集成在机械电子模块内,如图 3-27 所示。

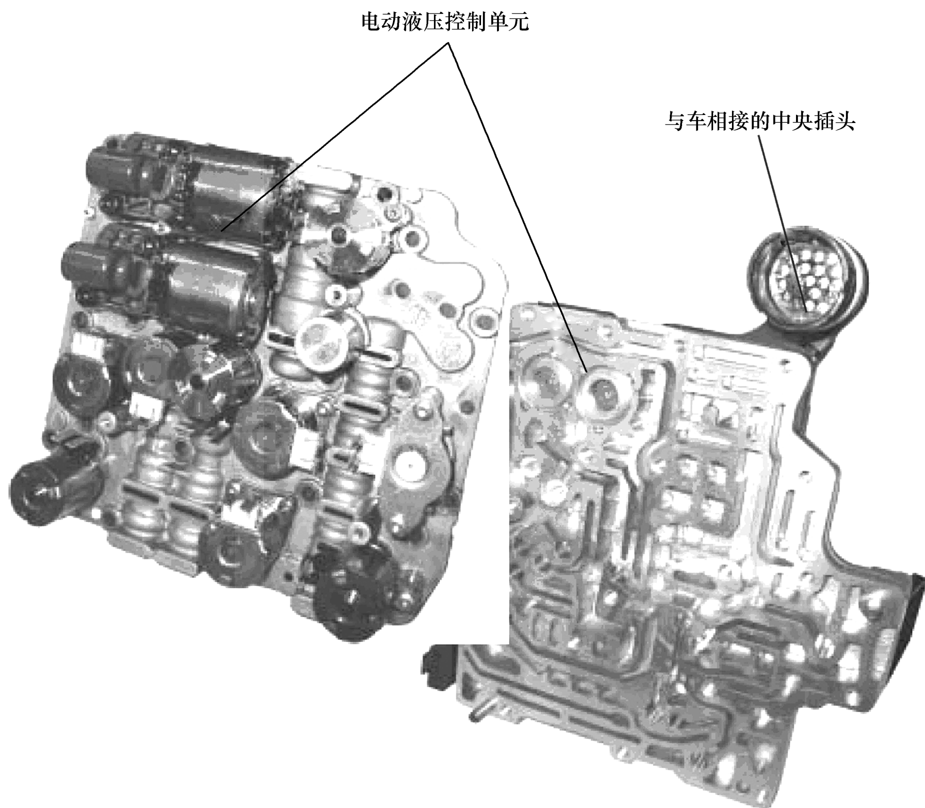


图 3-27　电动液压单元

电动液压单元内包含所有的电磁阀、压力调节阀以及液压滑阀和多路转换器。电磁阀名称如下：

N88：电磁阀 1（挡位调节阀）

N89：电磁阀 2（挡位调节阀）

N90：电磁阀 3（挡位调节阀）

N91：电磁阀 4（挡位调节阀）

N92：电磁阀 5（多路转换阀）

N215：压力调节阀 1（用于 K1）

N216：压力调节阀 2（用于 K2）

N217：压力调节阀 3（主压力阀）

N218：压力调节阀 4（冷却油阀）

N233：压力调节阀 5（安全阀 1）

N371：压力调节阀 6（安全阀 2）

另外在液压模块内还有一个溢流阀，该阀可防止压力过高，这样就可避免损坏液压滑阀。

电动液压单元各阀的位置如图 3-28 所示。

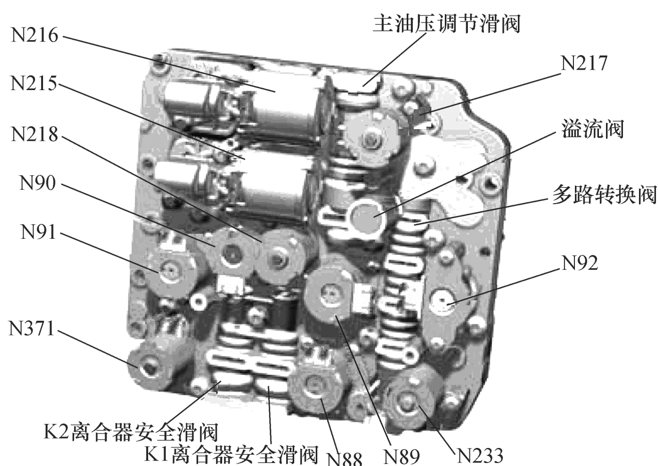


图 3-28 电动液压单元上各阀的位置

（3）直接换挡变速器电子-液压控制系统的液压回路（油循环管路） 直接换挡变速器内所有的功能使用的都是同一个油循环管路。在这个油循环管路中共有 7.2L 直接换挡变速器油。这种专用油必须满足下述要求：能保证离合器调节和液压控制、在全部工作温度范围内粘度稳定、耐高机械负荷、不起泡沫等。故不得用其他的自动变速器油代替。这种专用油的任务是：润滑和冷却双离合器、齿轮、轴、轴承和同步器及操纵双离合器和挡位调节活塞。

油冷却器可防止油温度超过 135℃，这个油冷却器中起冷却作用的是发动机冷却液。

液压系统的主要组成部件如图 3-29 所示。

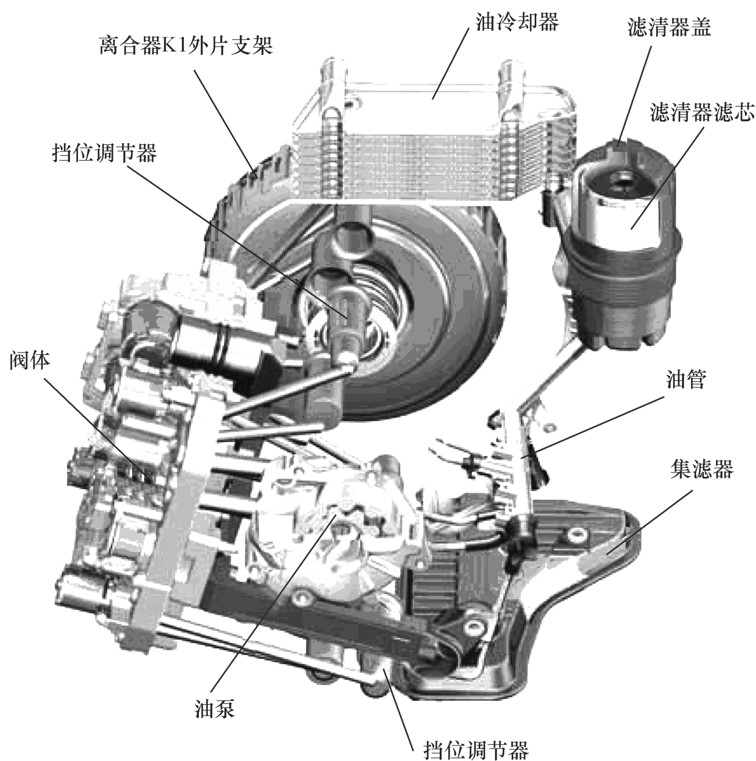


图 3-29 DSG 液压系统的主要部件

图 3-30 为直接换挡变速器液压控制回路示意图。

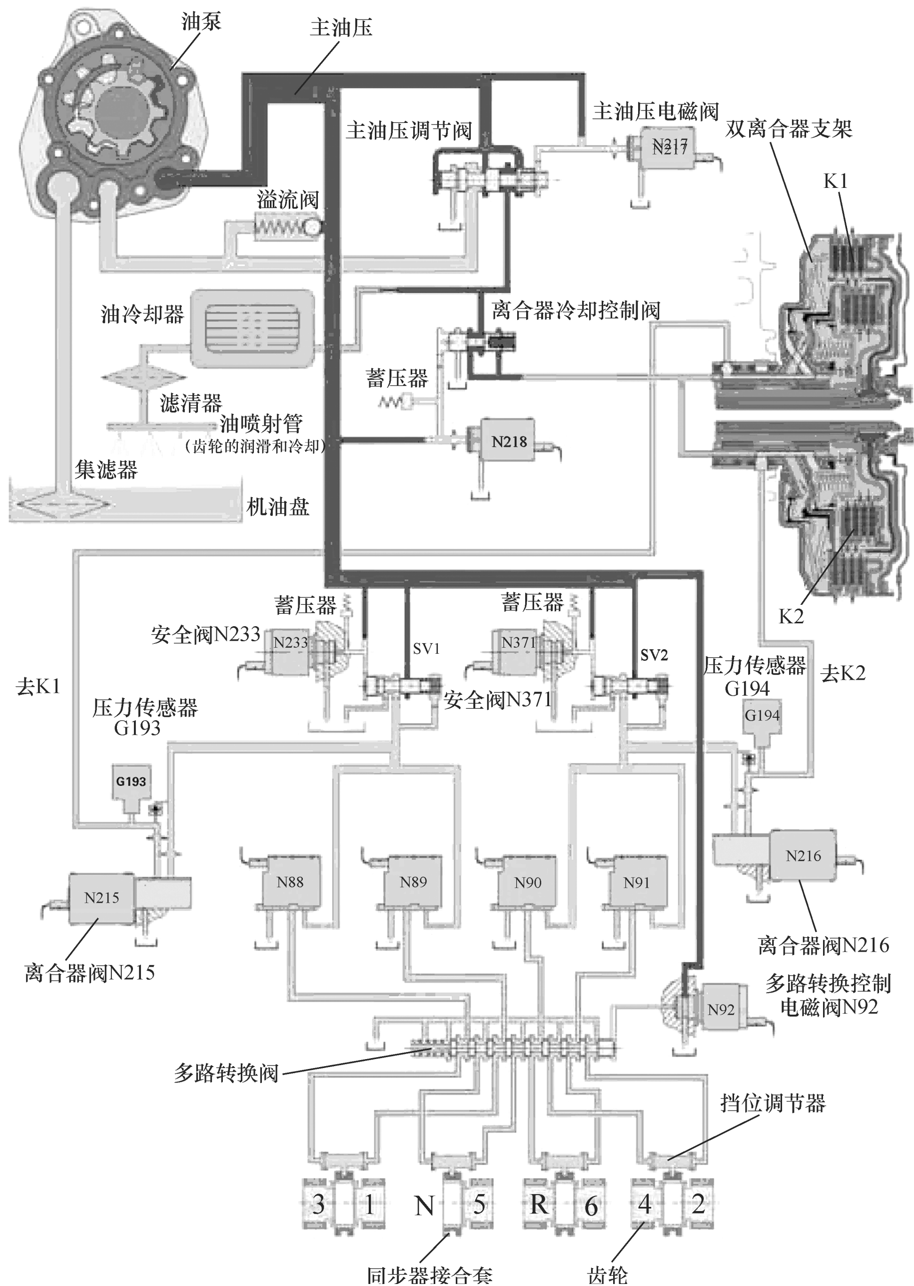


图 3-30　液压控制回路示意图

油泵经集滤器从油底壳中吸入油，并将油加压送到主压力滑阀。主压力滑阀由压力调节阀和主压力阀来控制。主压力阀调节直接换挡变速器内的工作压力。主压力滑阀下有一个油道，该油道将油送回到油泵的吸油侧。另一个油道分两个方向。一个油道将油送往油冷却器，油经压力滤清器流回到油底壳中。另一个油道将油送往离合器冷却油滑阀。变速器用压力调节阀调节出的工作压力来操纵多片式离合器以及换挡。油冷却器装在发动机的冷却循环管路中。压力滤清器装在变速器壳的外部。溢流阀用于保证机油压力不超过 3.2MPa。油喷

射管将油直接喷到齿轮上。

电动液压控制系统主要部件与工作情况：

1）油泵。采用月牙式内啮合齿轮泵，它吸入DSG专用油并建立起压力，这个压力用于操纵液压部件。该泵最大供油量为100L/min，主压力为2MPa。这个油泵给多片式离合器、离合器冷却装置、换挡液压机构、齿轮润滑装置供应油。

该油泵由一根泵轴来驱动，该泵轴的转速与发动机转速相同。这根泵轴作为第三根轴安装在彼此插在一起的输入轴1和2之间，如图3-31所示。

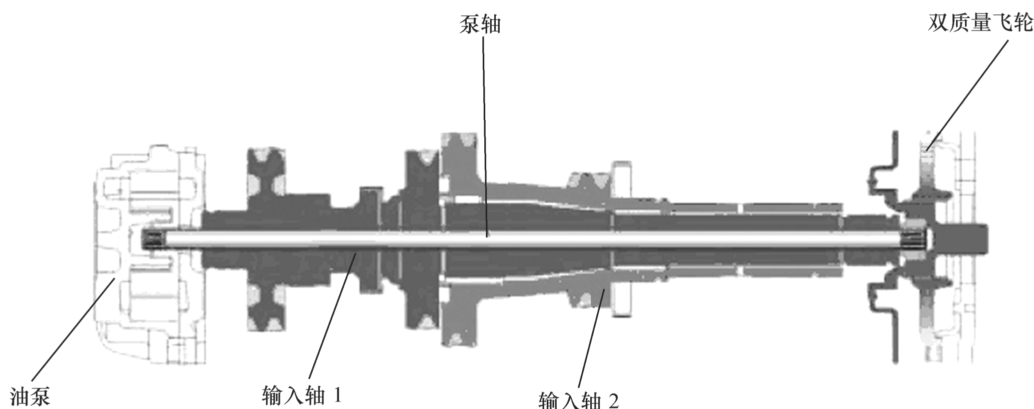


图3-31 DSG油泵的驱动

2）主压力阀N217。主压力阀由电子控制单元来控制。该阀用于控制主压力滑阀，这样就可以调节直接换挡变速器中液压系统的工作压力了。

主压力阀可以控制下面的油流：经油冷却器、滤清器、油喷射管的油回流；回流到油泵的油。

主压力用于操纵两个离合器阀N215和N216来使离合器K1和K2分离或接合，还用于操纵四个挡位调节阀N88、N89、N90、N91，以便挂入某一挡位。

3）多路转换电磁阀N92。该阀用于操纵多路转换器。多路转换器只用四个电磁阀就可控制八个挡位调节油缸。N92不通电时，多路转换器被一个弹簧压在基本位置，在基本位置可换入1、3、6和倒挡，如图3-32所示。

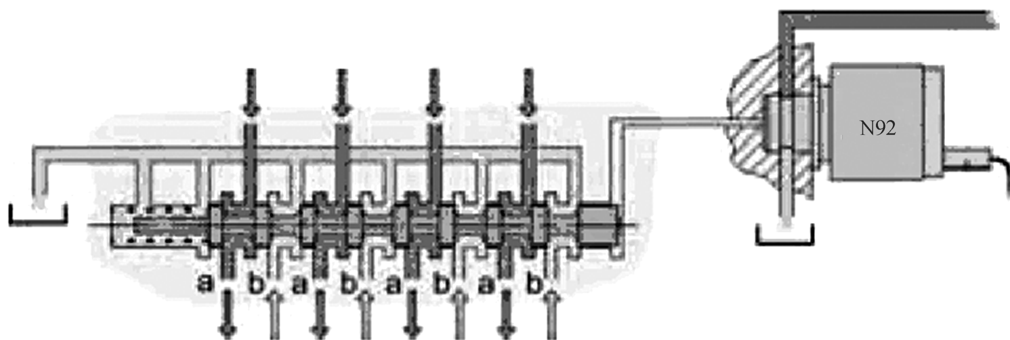


图3-32 多路转换电磁阀N92不通电时多路转换器的工作情况

如果多路转换阀 N92 通电，那么油压力就会到达多路转换器，将多路转换器逆着弹簧力的方向压到工作位置，这时就可换入 2、4、5 和空挡，如图 3-33 所示。

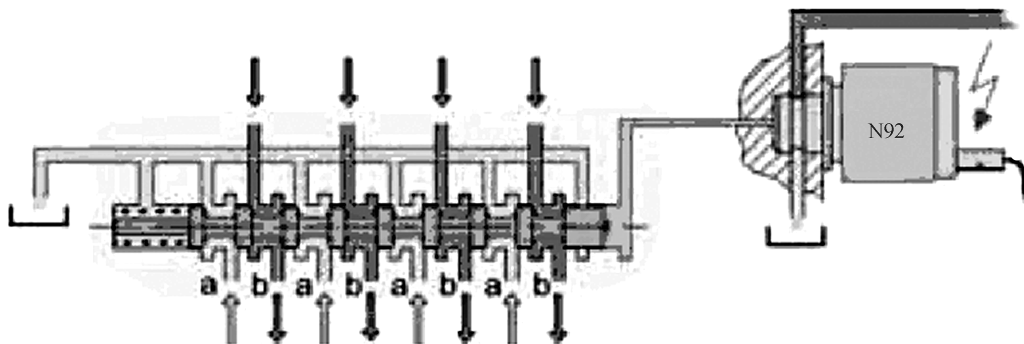


图 3-33　多路转换电磁阀 N92 通电时多路转换器的工作情况

4）安全阀。两个离合器各有一个安全阀，K1 对应的安全阀是 N233，K2 对应的安全阀是 N371。安全阀的作用是使相应的离合器迅速分离。当离合器的实际压力超过规定值时，必须让离合器分离。

5）压力传感器 G193 和 G194。压力传感器 G193 和 G194 用于监控离合器 K1 和 K2 上的压力。在主压力滑阀损坏时，通过一个溢流阀来防止主压力升得过高。

6）离合器冷却油系统。多片式离合器内部的机械摩擦会使得双离合器温度升高。为了防止离合器过热，就需要对离合器进行冷却。为了冷却离合器，油循环管路中还有一个单独的离合器冷却油回路。冷却油回路包括冷却油滑阀和压力调节阀 N218（离合器冷却油阀）。

工作过程：

多片式离合器的油温度传感器 G509 测量的是多片式离合器出口处的油温。根据测得的温度，控制单元会激活压力调节阀。压力调节阀升高或降低作用在离合器冷却油滑阀上的油压。冷却油滑阀根据油压来关闭或打开通向多片式离合器的油通道。冷却油最大供油量为 20L/min，其最大压力为 0.2MPa。

（4）直接换挡变速器的电控系统　直接换挡变速器的电控系统主要包括以下的传感器或开关信号：

挡位调节器传感器 1～4（G487、G488、G489、G490）、多片式离合器的油温传感器 G509、变速器输入转速传感器 G182、变速器输出转速传感器 G195 和 G196、输入轴 1 和 2 的转速传感器 G501 和 G502、液压压力传感器 1（G193）和 2（G194）、变速器油温传感器 G93、控制单元的温度传感器 G510、转向盘上的 Tiptronic 开关 E438 和 E439。

直接换挡变速器的机械电子装置 J743 与变速杆传感器控制单元 J587 之间进行 CAN 信号通信。

执行元件主要包括：电磁阀 N88、N89、N90、N91、N92、N218、N233、N371；变速杆锁止电磁铁 N110；压力调节阀 N215、N216、N217。

1）传感器

① 变速器输入转速传感器 G182。变速器输入转速传感器插在变速器壳体内，如图 3-34、图 3-35 所示。该传感器以电子方式扫描双离合器的外边并分析变速器输入转速，

按霍尔效应原理来工作。变速器输入转速与发动机转速相同。在这个传感器的外壳上还有传感器 G509，这两个传感器通过导线与机械电子装置相连。

信号功用：变速器输入转速信号用于计算多片式离合器的打滑量。

为了完成这个计算，控制单元还需使用传感器 G501 和 G502 的信号。控制单元根据离合器的打滑情况来精确控制离合器的分离和接合。

信号中断的影响：这个信号中断时，控制单元使用来自 CAN 总线的发动机转速作为替代信号。

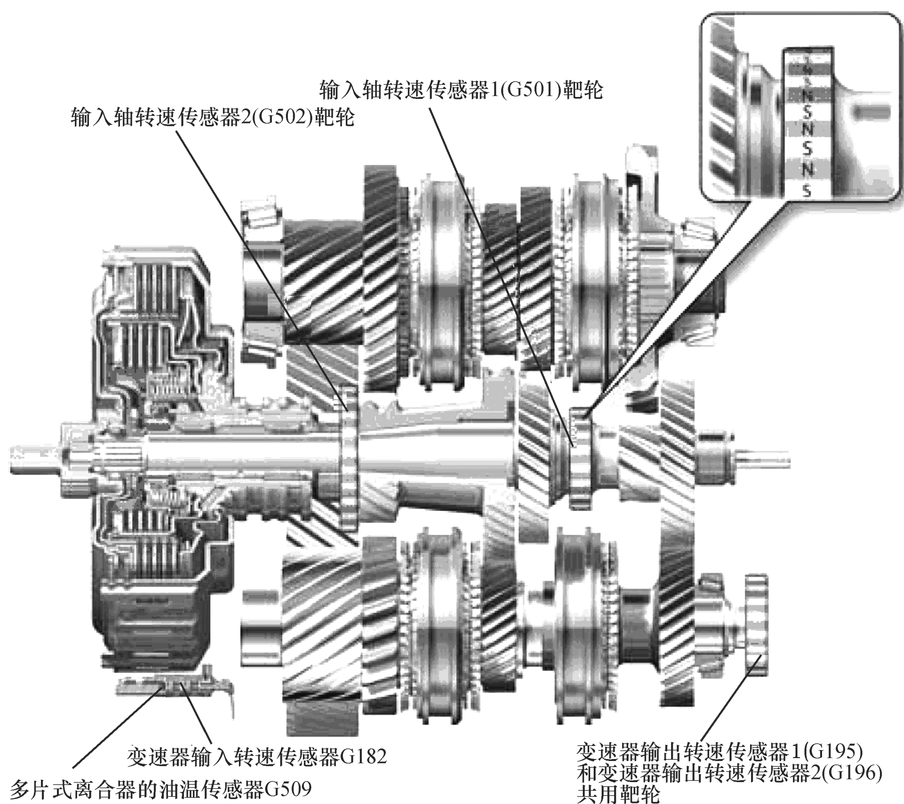


图 3-34 转速传感器

② 输入轴转速传感器 1（G501）和输入轴转速传感器 2（G502）。这两个传感器都在机械电子装置内，参见图 3-35 所示。转速传感器 G501 测量输入轴 1 的转速，转速传感器 G502 测量输入轴 2 的转速。这两个传感器都是霍尔传感器。为了识别出转速，每个传感器会扫描其靶轮。

在靶轮上有一层橡胶-金属层，这个橡胶-金属层沿圆周构成了多个带有 N 极和 S 极的小磁铁。各个磁铁之间有气隙。

信号功用：控制单元使用这两个信号再加上变速器输入转速信号来计算多片式离合器 K1 和 K2 的输出转速，并识别出离合器的打滑状况。根据打滑情况，控制单元可识别出离合器的分离和接合状况。另外，该信号还用于控制所切换的挡位。控制单元使用这两个信号再加上变速器输出转速传感器的信号可以识别出是否已经挂入了正确的挡位。

信号中断的影响：如果这两个信号中的一个中断了，那么相应的变速器部分就被切断。

如果传感器 G501 损坏，那么就只能以 2 挡来行车；如果传感器 G502 损坏，那么就只能以 1 挡和 3 挡来行车。

③ 变速器输出转速传感器 1（G195）和变速器输出转速传感器 2（G196）。这两个传感器都在机械电子装置中，并与控制单元始终连接在一起，参见图 3-34、图 3-35 所示。这个传感器也是霍尔传感器，与该变速器上的所有转速传感器一样。

这两个传感器扫描输出轴 2 上的同一个靶轮。这两个传感器彼此错开安装在一个壳体上。因而会产生两个彼此错开的信号。如果传感器 G195 的信号为“高”，那么传感器 G196 的信号就为“低”。

信号功用：控制单元根据这些信号可识别出车速和行驶方向。行驶方向通过彼此错开的信号来识别。如果行驶方向发生变化，那么这两个信号就会以相反的顺序进入到控制单元内。

信号中断的影响：如果该信号中断，那么控制单元会使用 ABS 控制单元的车速信号和行驶方向信号。

④ 液压压力传感器 1（G193）和 2（G194）。这两个压力传感器都在机械电子控制装置中的电动液压单元内，如图 3-35 所示。

液压压力传感器 1（G193）上作用的压力与多片式离合器 K1 上的压力相同。多片式离合器 K2 的压力作用在液压压力传感器 2（G194）上。

信号功用：机械电子装置的电子控制单元根据这两个信号就可识别出作用在相应多片式离合器上的压力大小。控制单元需要使用精确的压力值来调节多片式离合器。

信号中断的影响：如果某个压力传感器信号中断或没有建立起压力，那么相应的变速器部分就被切断。变速器只能以 1 挡和 3 挡或以 2 挡来工作。

压力传感器的工作原理：这种压力传感器由两个平行布置的导电极板构成。上面的极板固定在陶瓷隔膜上，这层隔膜在压力改变时会弯曲。另一个极板与陶瓷基体刚性连接在一起，这个陶瓷基体不会随压力改变而变形。只要有压力变化，上面的隔膜就会弯曲，那么两个极板之间的距离也就发生改变。因而随压力变化就产生了一个可靠信号。

⑤ 多片式离合器的油温传感器 G509。多片式离合器的油温传感器 G509 在变速器输入转速传感器 G182 的壳体上。这个传感器测量从多片式离合器流出的 DSG 油的温度。由于油在多片式离合器中所承受的热负荷较高，所以变速器油在此处温度最高。该传感器的结构使得它能又快又准地测量到油温。该传感器的工作温度范围为－55～＋180℃。

信号功用：控制单元使用 G509 的信号来调节离合器的冷却油量，并执行其他的变速器保护措施。

信号中断的影响：信号中断时，控制单元使用变速器油温传感器 G93 和控制单元温度传感器 G150 的信号来作为替代信号。

⑥ 变速器油温传感器 G93 和控制单元温度传感器 G510。这两个传感器直接布置在机械电子装置上。机械电子装置总是被油所包围着，并由油加热。

如果太热则可能影响电子装置的功能。这两个传感器直接测量危险部件的温度，这样就可提前执行相应措施来降低油温，避免机械电子装置过热。

信号功用：这两个传感器信号用于检查机械电子装置的温度。另外还会根据这两个传感器信号启动一个预热程序。这两个传感器彼此相互检查。

信号中断的影响：变速器油温超过 138℃时，机械电子装置会采取措施来降低发动机转矩。当温度超过 145℃时，多片式离合器上就不再作用油压，离合器分离。

⑦ 挡位调节位移传感器 1～4：（G487、G488、G489、G490）。这些位移传感器都在机械电子装置内，它们都是霍尔传感器。

这些传感器与换挡拨叉上的磁铁一起产生一个信号，控制单元根据这个信号就可识别出挡位调节器的位置。

每个位移传感器监控一个挡位调节器，用于在两个挡位之间切换。G487 用于检测 1/3 挡挡位调节器的位置，G488 用于检测 2/4 挡挡位调节器的位置，G489 用于检测 6/倒挡挡位调节器的位置，G490 用于检测 5/空挡挡位调节器的位置。

信号功用：控制单元根据精确的位置来将油压作用到挡位调节器上，以便换挡。

信号中断的影响：如果某个位移传感器不再发送信号，那么对应的变速器部分就被切断，受影响的挡位就无法使用了。

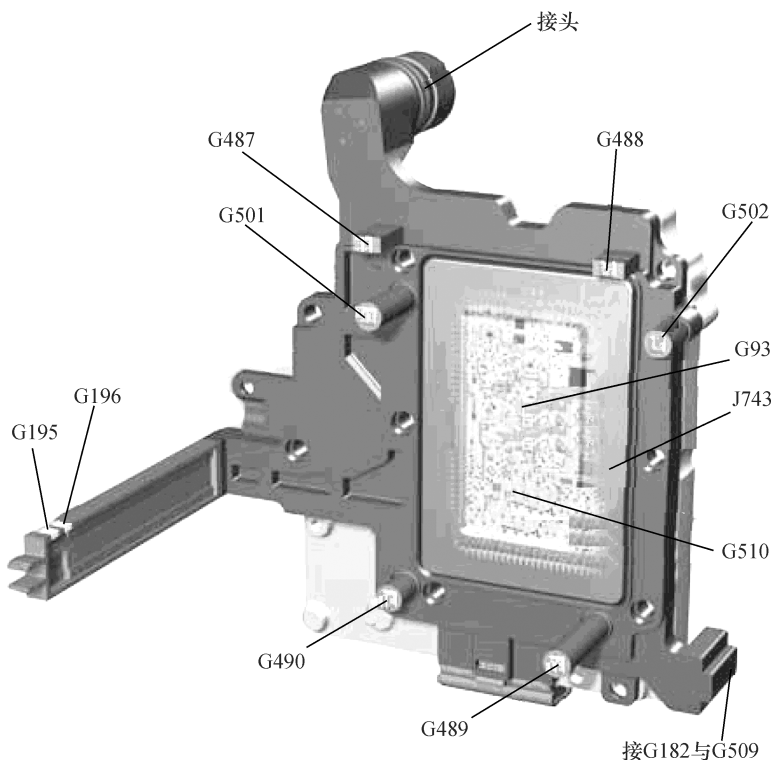


图 3-35 机械电子装置上的传感器

G93—变速器油温传感器 G182—变速器输入转速传感器 G195—变速器输出转速传感器 1 G196—变速器输出转速传感器 2 G487—挡位调节器的位移传感器 1 G488—挡位调节器的位移传感器 2 G489—挡位调节器的位移传感器 3 G490—挡位调节器的位移传感器 4 G501—输入轴 1 的转速传感器 G502—输入轴 2 的转速传感器 G509—多片式离合器的油温传感器 G510—控制单元温度传感器

⑧ 变速杆传感器控制单元 J587。变速杆传感器控制单元集成在变速杆上，如图 3-36 所示。这个控制单元既是控制单元也是传感器。作为控制单元，它操纵变速杆锁止电磁铁。变速杆照明灯也集成在控制单元上。同时，该控制单元上还集成有用于识别变速杆位置的霍尔传感器和用于识别 Tiptronic 的霍尔传感器。变速杆位置信号和 Tiptronic 信号通过 CAN-总线被发送到机械电子装置上和组合仪表控制单元上。

2）执行器

① 压力调节阀3（N217主压力阀）。压力调节阀3在机械电子装置的电动液压控制单元内。该阀是一个调制阀，用来调节机械电子装置中液压系统的主压力。用于计算主压力的主要因素是当前离合器的压力（取决于发动机转矩）。使用发动机温度和发动机转速来校正主压力。控制单元总是使主压力与当前实际情况相匹配。

信号中断的影响：如果该阀损坏，那么系统会以最大主压力来工作，这会导致燃油消耗升高且换挡时有噪声。

② 压力调节阀1（N215）和压力调节阀2（N216）（离合器阀）。压力调节阀N215和N216布置在机械电子装置的电动液压控制单元上。这两个阀是调制阀，用于产生多片式离合器上用的控制压力。N215用于多片式离合器K1；N216用于多片式离合器K2。

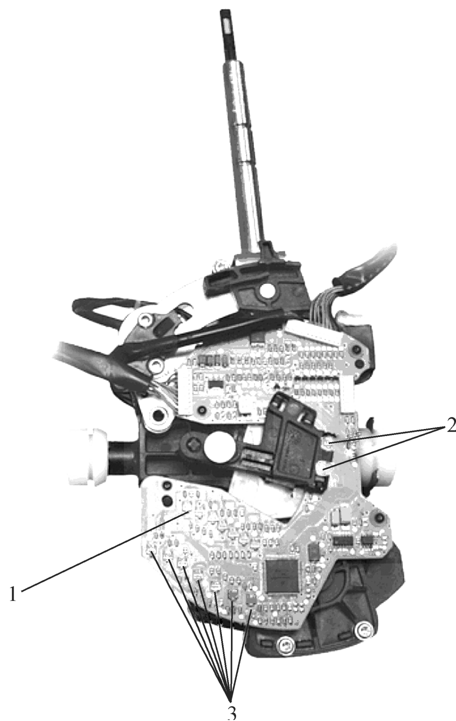


图3-36　变速杆传感器控制单元J587

1—变速杆传感器控制单元J587

2—Tiptronic位置霍尔传感器

3—霍尔传感器

用于计算离合器压力的基本值是当前的发动机转矩。控制单元将离合器压力值与多片式离合器当前的摩擦系数相匹配。

信号中断的影响：如果某个阀损坏了，那么相应的变速器部分就被切断了。这个故障会在组合仪表上显示出来。

③ 压力调节阀4（N218冷却油阀）。N218在电动液压控制单元上。它是一个调制阀，通过一个液压滑阀来控制离合器冷却油量。控制单元使用多片式离合器油温传感器G509的信号来控制这个阀。

信号中断的影响：如果无法控制该阀，那么冷却油会以最大流量流过多片式离合器。在外部温度很低时，这会引起换挡故障以及燃油消耗的升高。

④挡位调节电磁阀1～4（N88、N89、N90和N91）。这四个电磁阀都在机械电子装置的电动液压控制单元上。

它们都是简单的通断阀。

这四个电磁阀通过多路转换滑阀来控制通向挡位调节器的油压。

在不通电时这些阀是关闭的，这时油压无法作用到挡位调节器上。

电磁阀1（N88）用于控制1挡和5挡的换挡油压。

电磁阀2（N89）用于控制3挡和空挡的换挡油压。

电磁阀3（N90）用于控制2挡和6挡的换挡油压。

电磁阀4（N91）用于控制4挡和倒挡的换挡油压。

信号中断的影响：如果某个电磁阀损坏，那么挡位调节器所在的变速器部分就被切断了。车辆只能用1和3挡或2挡来行驶。

⑤ 多路转换电磁阀5（N92）。N92在机械电子装置的电动液压控制单元上。该阀用于控制液压控制单元内的多路转换器。当这个电磁阀通电时，可以换2、4和6挡。如果该电

磁阀没有通电，可以换 1、3、5 和倒挡。

信号中断的影响：多路转换滑阀保持在初始位置上。油压无法操纵多路转换滑阀。可能出现换挡错误。车辆也可能抛锚。

⑥ 压力调节阀 5（N233）和压力调节阀 6（N371）（安全阀）。N233 和 N371 安装在机械电子装置的液压模块上。这两个阀是调制阀，控制机械电子装置内滑阀箱内的安全滑阀。当变速器内某部分出现安全方面的故障时，安全滑阀会切断相应部分的液压压力。

压力调节阀 5（N233）控制变速器阀体 1 的安全滑阀。压力调节阀 6（N371）控制变速器阀体 2 的安全滑阀。

信号中断的影响：如果某个压力调节阀损坏了，那么相应变速器部分就无法切换挡位。如果变速器阀体 1 有故障，那么只能以 2 挡行车；如果变速器阀体 2 有故障，那么只能以 1 挡和 3 挡行车。

二、电子机械驻车制动装置

目前，一些轿车上采用了电子机械驻车制动装置，如奥迪 A5、宝马 760、雷克萨斯 LS460 等。电子机械驻车制动装置通过操作电动执行器进行驻车制动，从而减少手动操作，减轻了驾驶员的负担，提高了舒适性。

1. 奥迪 A5 电控机械式驻车制动系统

奥迪 A5 电控机械式驻车制动系统（EPB）主要由电控机械式制动按键 E538、左侧驻车制动器电动机 V282、右侧驻车制动器电动机 V283、电控机械式驻车系统控制单元 J540、组合仪表板内的控制单元 J285 等组成，如图 3-37 所示。



图 3-37　奥迪 A5 电控机械式驻车制动系统的组成

驻车制动器的结构如图 3-38 所示，制动摩擦片由传动轴进行压紧，该传动轴的设计原理和功能与奥迪 A8 和 A6 上所使用的一致。

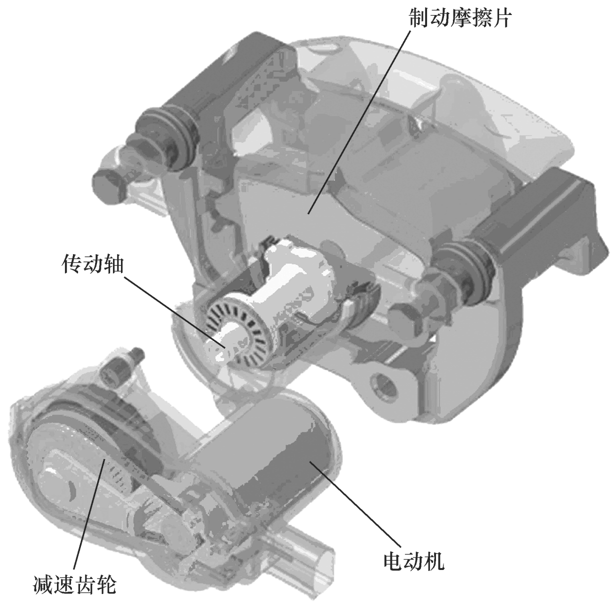


图 3-38　驻车制动器的结构

减速齿轮机构采用行星齿轮机构取代了奥迪 A8 和 A6 上使用的斜盘式齿轮减速机构，如图 3-39 所示。电动机首先通过正时带向齿轮机构提供驱动力。电动机与行星齿轮机构输入齿轮之间的传动装置的传动比为 3，行星齿轮机构的传动比为 50，驱动轴可实现 1.25 的传动比，这样可实现大于 150 的传动比。

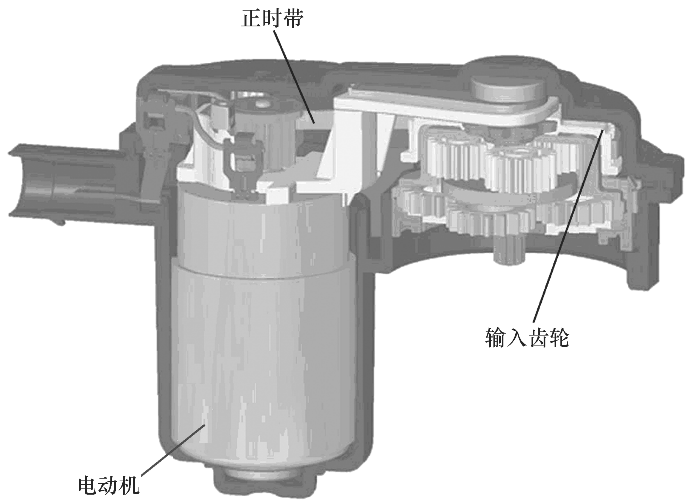


图 3-39　驻车制动器电动机及减速齿轮机构

行星齿轮机构的结构与传动原理如图 3-40 所示，它由两个行星齿轮排串联而成，从而实现很高的减速比。由齿形带驱动的输入齿轮与第一排行星齿轮系的太阳齿轮连在一起。第

一排的齿圈与第二排的齿圈制成一体并牢固地连接在外罩上，即固定不动。这样，第一排的传动方式为太阳轮输入、齿圈固定、行星架输出的减速传动。而第一排的行星齿轮架又与第二行星排的太阳轮连接在一起，第二排的行星架作为输出件通过花键直接连接在驱动轴上。

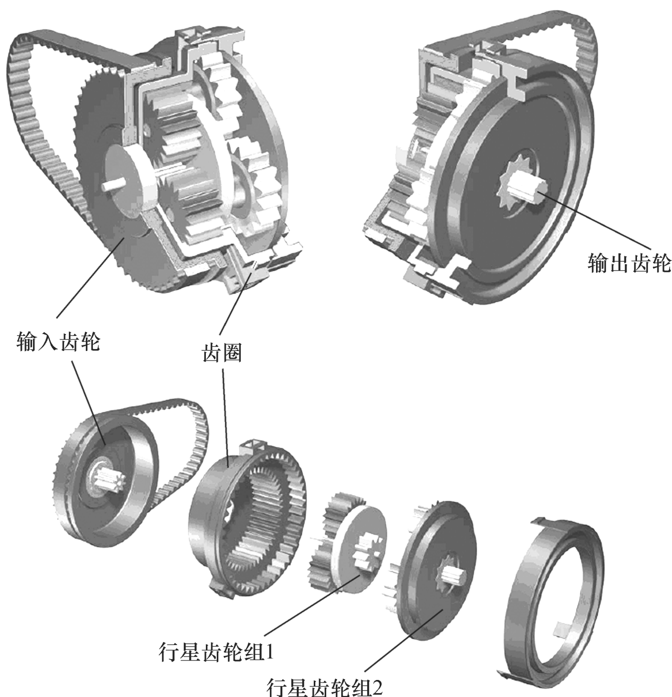


图 3-40 驻车制动器减速齿轮机构

通过一个螺杆来驱动制动活塞，这样就将旋转运动转换成往复直线运动了。螺杆直接由行星齿轮机构来驱动。制动活塞内装有一个螺母，该螺母可将螺杆的旋转运动转换成轴向移动，如图 3-41 所示。电动机的转动圈数由一个霍尔传感器来测量。于是活塞的往复直线运动的位移就可由控制单元计算出来。

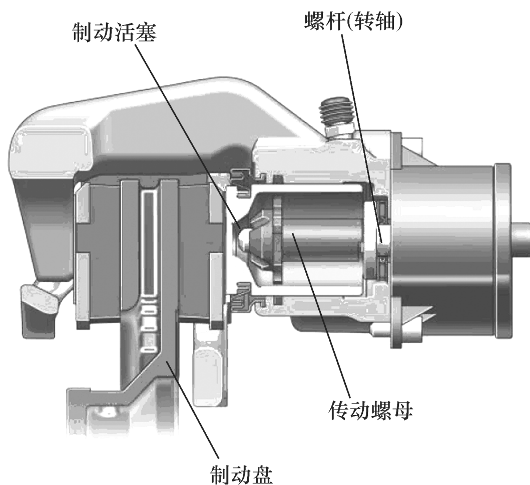


图 3-41 驻车制动器剖视图

控制单元 J540 的电动机可以对制动摩擦片进行控制。控制单元安装在行李箱的右侧。与奥迪 A6 和 A8 相类似，驻车电动机 V282/283 分别由左右两个电动机的蓄电池控制。控制单元安装有两个处理器，一切控制操作全部由这两个处理器确定。控制单元中有一个机械式的微型倾斜传感器。EPB 控制单元同时也能按照传感器的信号指示，控制车辆实际的纵向加速。奥迪 A5 中，ESP 控制单元可以有效地处理使用这些值。控制单元 J540 将执行自身的同步过程，而并非 CAN 同步过程。该同步过程的延续时间最短为 20s。当驻车制动器关闭后，显示器至少还能在车熄火之后继续工作 20s。可以进行程序刷新。

每次维修之后，无需再对控制单元进行编码。

制动摩擦片接触制动盘之后，将会造成控制电流大幅度增加。电流的切断点以及最大夹紧力由电压和电流曲线决定。制动摩擦片的活动状态无法直接测量。

驻车制动器的工作状态如图 3-42 所示。

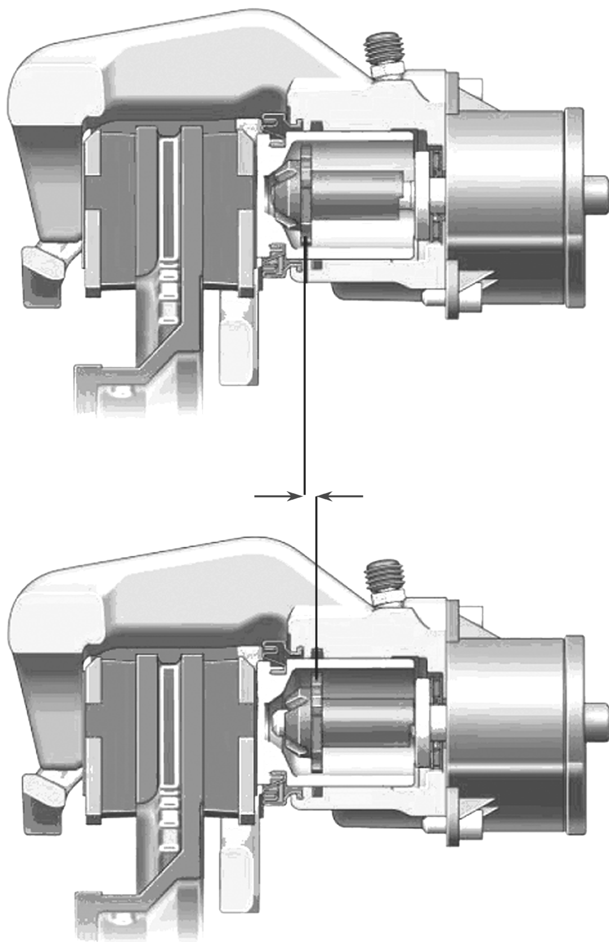


图 3-42　驻车制动器的工作状态

驻车制动器拉紧：螺母在螺杆上向前运动，与活塞接触，活塞被压靠在制动盘上。

驻车制动器松开：螺母在螺杆上向后运动，不再顶住活塞后部。密封圈在恢复原状时会将活塞向回推，于是松开制动盘。

奥迪 A5 所采用的 EPB 制动器，其功能主要有驻车制动功能、动态紧急制动功能、自适应起步辅助功能、制动摩擦衬块磨损识别和间隙校正功能、制动盘高温状态下自动重新拉紧功能。

1）动态紧急制动功能。动态应急制动系统与 A6 和 A8 上各系统的标准功能原理一致。即如果在车速超过 7km/h 的时候启动该功能，则 ESP 就会利用后轮主动形成的制动压力对车进行制动。此时，如果车速减小到 7km/h 以下，EPB 就会启动，而 ESP 就会相应减小制动压力。ESP 接收到 EPB 控制单元的指令后生成制动压力。特定情况下，ESP 控制单元无法执行相关指令，ESP 不会生成制动压力（例如，检测到车轮制动器的温度过高或 ESP 发生故障）。如果是 A6 和 A8 车型，车速如果超过 7km/h，便无法启用动态应急制动功能。这种情况下，A5 装备的 EPB 就会起到 ESP 的作用（生成制动压力）。即便车速超过 7 km/h，也可以快速关闭和启动驻车制动器以达到对车辆进行制动的目的（最大频率约 2Hz）。前桥和后桥的车轮转速不断地进行对照调节，以防止制动过度，保持车身平稳。

2）制动盘高温状态下自动重新拉紧功能。当 A5 型车辆处于静止状态而且制动盘温度很高时，驻车制动器会自动进行重新拉紧。EPB 控制单元上的温控模块负责测量制动盘的温度。驻车制动器关闭 3min 后，EPB 控制单元会对当前的制动盘进行温度测量。发动机熄火后，如果制动盘超过 300℃，而且倾斜角度超过 15％时，制动盘就会重新拉紧。但是如果超过 500℃，无论是否熄火，制动盘都会重新拉紧。此时，警告灯会闪烁。

3）制动摩擦片间隙的自动矫正功能。奥迪 A6 及以后的车型均具备此功能。如果驾驶员长时间未使用驻车制动器，驱动轴必须运转更长的距离以启动制动摩擦片，因为制动摩擦片已经受到了磨损。在一些条件下，驻车制动器启动以后，可能需要更长的时间才能使之关闭。为防止出现上述情形，如果车辆行驶 1000km 之后，仍未使用驻车制动器，则该矫正功能就会自动激活。前提条件是车辆已处于驻车状态，且驻车制动系统处于开启状态，点火装置处于关闭状态。

4）专用的系统功能。制动摩擦衬块更换模式。更换制动摩擦衬块需要使用 V. A. S5051 在驻车制动器未工作时来进行。在基本设定功能 5 中，螺杆会将螺母完全收回。在制动活塞复位之后，就可以用专用工具 V. A. ST10145 来更换制动摩擦衬块。在基本设定功能 6 中，气缸与活塞接触。

2. 宝马电子机械式驻车制动器

宝马 E65 车型中采用了电子机械式驻车制动器（EMF）。装备了这个系统时驾驶员按压按钮即可使驻车制动器接合或松开。仪表板上的驻车制动按钮如图 3-43 所示。



图 3-43　仪表板上的驻车制动按钮

该系统的 EMF 伺服单元与鼓式制动器的连接如图 3-44 所示。

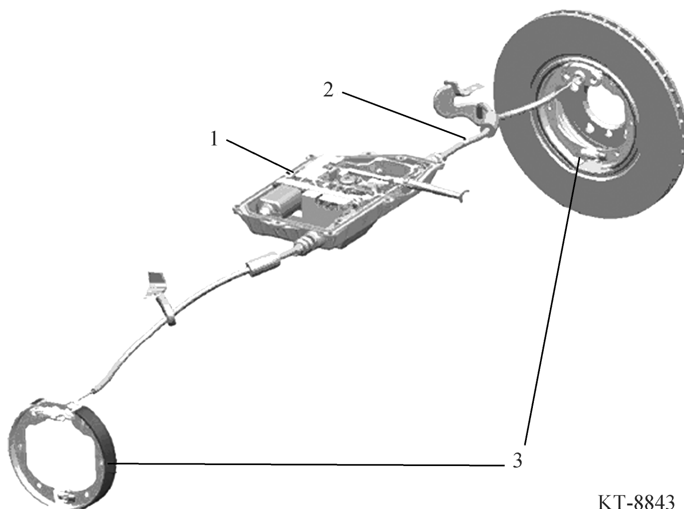


图 3-44　EMF 伺服单元与鼓式制动器的连接

1—EMF 伺服单元　2—拉索　3—鼓式制动器

(1) 系统功能介绍　根据车辆的运行状态，驻车制动器有两种不同的基本功能，即驻车与动态制动。

驻车功能：发动机运转时或车辆移动时驻车制动器通过 DSC 液压系统作用在前桥和后桥的盘式制动器上；发动机关闭且车辆静止时，驻车制动器通过电动机械伺服单元操纵拉索作用在后桥双自增力鼓式制动器上。

伺服单元位于备胎凹坑与后排座椅隔板之间的行李箱底板内。如果伺服单元工作就会执行控制单元内规定的驻车制动。

动态制动功能：如果行驶期间按下驻车制动按钮，则会通过 DSC 系统执行规定的制动。该制动由 ABS 调节功能监控，在按住按钮期间会进行制动。

此外该驻车制动器还具有自动驻车的便捷功能。

自动驻车功能：如果通过控制器选择了这个便捷功能，则车辆制动至静止状态后，驻车制动器以液压方式保持车辆制动（DSC）。踩下加速踏板，车轮制动器就会松开，车辆就可以起步。因为制动器自动接合和松开，可避免车辆向后溜车（坡道驻车），所以该功能使山路起步更方便。

特殊功能：为了提高优化的双自增力制动效果，行驶模式下会以固定时间间隔进行磨合制动。磨合制动可消除双自增力制动器制动蹄或制动鼓可能有的锈蚀现象。磨合制动每 1000km 或每月进行一次。300 次磨合制动会使制动蹄磨损 0.3～0.5mm。该过程自动进行且尽可能不让驾驶员感觉到。磨合制动时，伺服单元拉紧驻车制动器的力比驻车时小。磨合制动时在丝杠上的制动力为 800N（最大操纵力的 20%）。

服务功能：如果维修及保养时更换了鼓式制动器的制动蹄，为保证驻车制动效果足够好，必须对制动蹄进行磨合。制动在驻车制动器控制单元的软件中有一个可以通过 DIS 调用的“磨合制动专用程序”。

在组合仪表内通过显示/报警灯来显示系统是否处于准备状态或有故障。有错误的信号

通过 CAN 总线被记录为故障。如有必要将根据情况部分关闭或完全关闭该系统。在控制显示中驾驶员也会得到有关功能可能被限制的提示。

提示：只能在变速杆挂入 N 位时让车辆滚动或推移车辆。空挡位置保持挂入状态的时间通常最大为 30min，如果车辆静止时间超过这个时间，则自动变速器内的驻车锁止器自动锁止。

紧急解锁装置：为了在伺服单元失灵或供电不足时能松开驻车制动器，车辆装备了一个手动紧急解锁装置。采用直接手动操纵传动装置的方式通过随车工具中的一个紧急解锁工具和一个呆扳手即可以将机械伺服单元和双自增力鼓式制动器松开。

（2）系统的组成　系统的组成如图 3-45 所示。

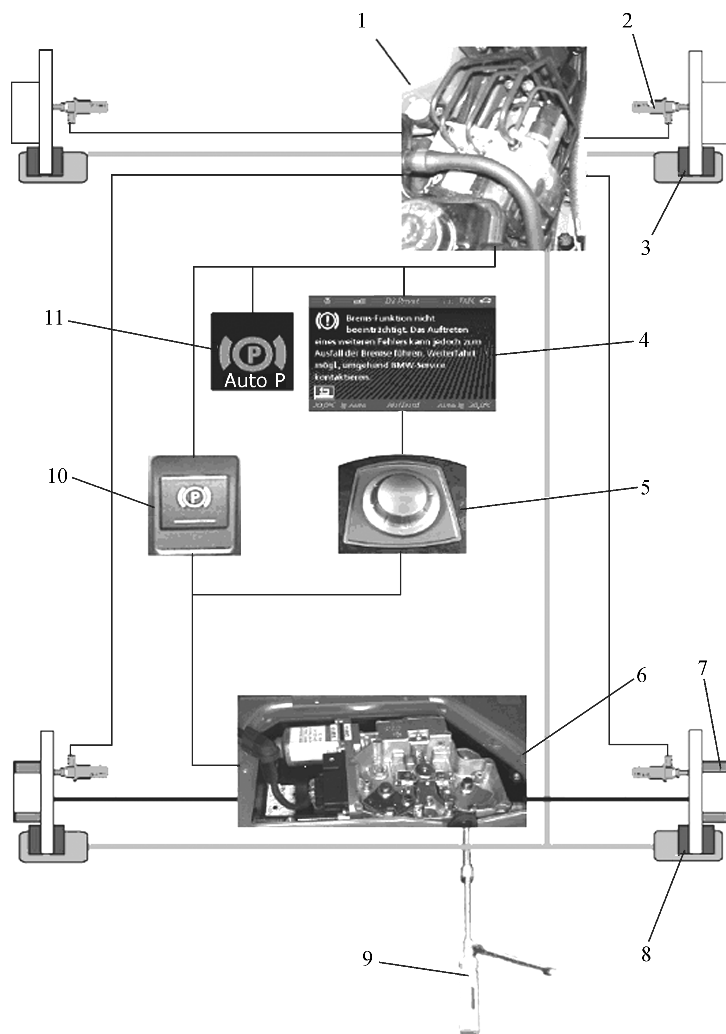


图 3-45　驻车制动系统一览

1—DSC 模块　2—车轮转速传感器　3—前桥行车制动器　4—控制显示　5—控制器　6—伺服单元　7—驻车制动器　8—后桥行车制动器　9—手动紧急操纵　10—驻车制动按钮　11—组合仪表中的指示灯

伺服单元的结构如图 3-46、图 3-47 所示。

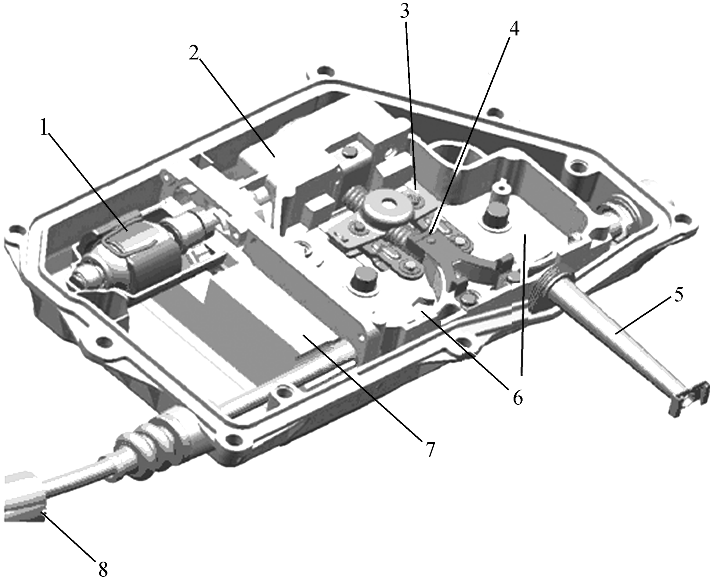


图 3-46　驻车制动器伺服单元组成

1—伺服电动机　2—变速装置　3—平衡杆　4—挡块　5—用于紧急操作导向管
6—拉索盘　7—控制单元　8—拉索

挡块用于将标准操纵位置限制在零位置（抬起这个部件即可得到制动拉索的安装位置）。点火开关打开后第一次松开制动器时，平衡杆靠在挡块上。随着电流的升高控制单元识别到这个零位置（零位置＝已松开的位置）。

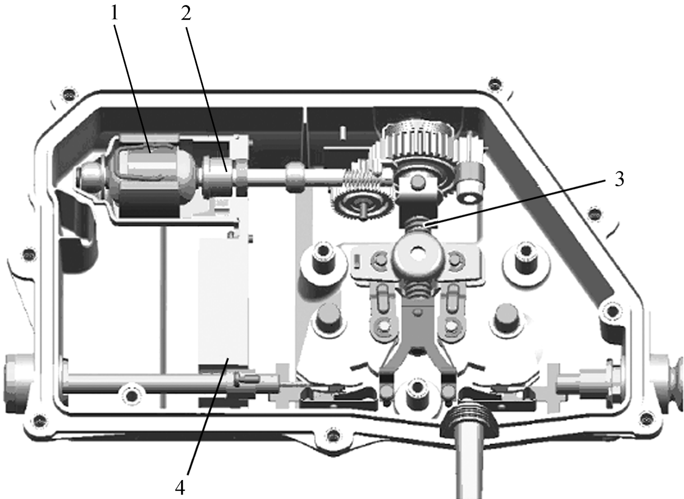


图 3-47　驻车制动器伺服单元内部结构

1—伺服电动机　2—霍尔传感器　3—丝杠　4—控制单元

（3）部件及其功能

1）电动机械式伺服单元。电动机械式伺服单元的结构如图 3-48 所示。

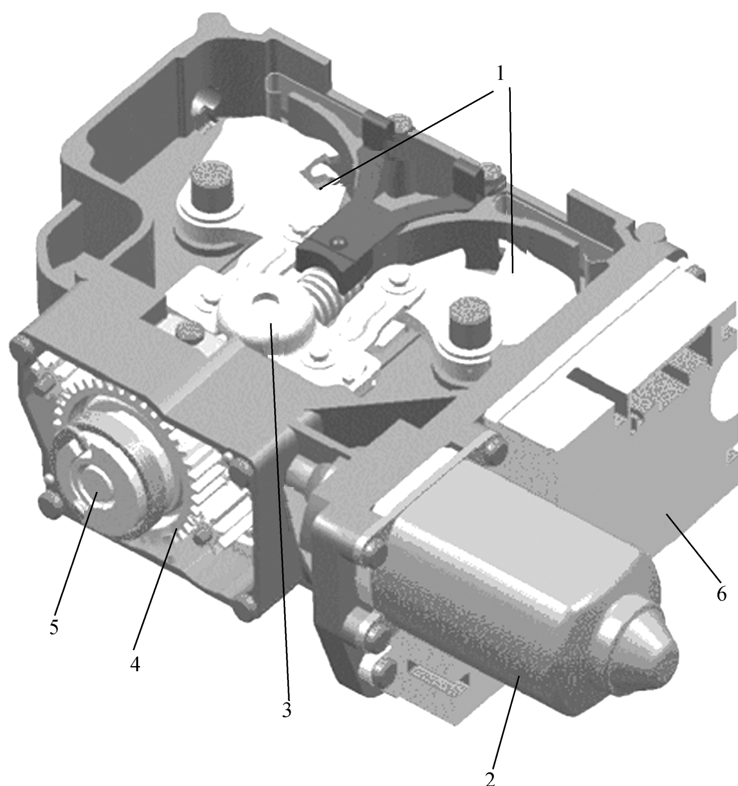


图 3-48 电动机械式伺服单元

1—拉索盘 2—伺服电动机 3—平衡杆 4—变速装置 5—丝杠 6—附加控制单元

伺服单元的电动机通过变速装置转动丝杠，用于拉索左右平衡的平衡杆因丝杠被驱动而发生移动。这个平衡杆会根据丝杠的旋转方向通过连接杠杆拉动拉索盘。挂在拉索盘上的拉索拉紧双自增力鼓式制动器或将其松开。制动作用的解除是由双自增力鼓式制动器内的复位弹簧完成的。

如果再次松开制动器，则变速装置将驱动丝杠和缠绕式弹簧端部推到对面。这个弹簧被向内拉并靠在丝杠上，这样它就会从壳体上松开。平衡杆被推移的同时通过连接杠杆使拉索盘向外转动，所以拉索即被松开。

安装在丝杠上的缠绕式弹簧用于保持驻车制动器的制动力。到达保持位置后丝杆的力促使这个弹簧通过拉索张紧后的拉力而向逆向转动。借此使缠绕式弹簧的头几圈向外展开。这几圈弹簧压向围绕其外的壳体并使丝杆固定在这个位置，这样驻车制动力由缠绕式弹簧承受而不是由变速装置承受。

手动紧急操作时同样可以通过变速装置转动丝杆并使弹簧卸载。

带缠绕式弹簧的变速装置结构如图 3-49 所示。这是一个由蜗杆圆柱齿轮和丝杆组成的三级减速器。因为变速装置的齿轮由塑料制成，所以全部的驻车制动力都由丝杆壳体盖内的缠绕式弹簧承受。

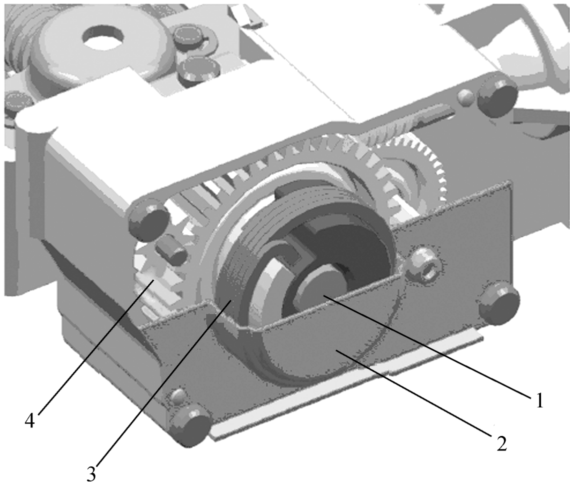


图 3-49　变速装置和缠绕式弹簧盖罩

1—丝杠　2—缠绕式弹簧盖罩　3—缠绕式弹簧　4—紧急操作驱动装置

EMF 内部部件如图 3-50 所示。

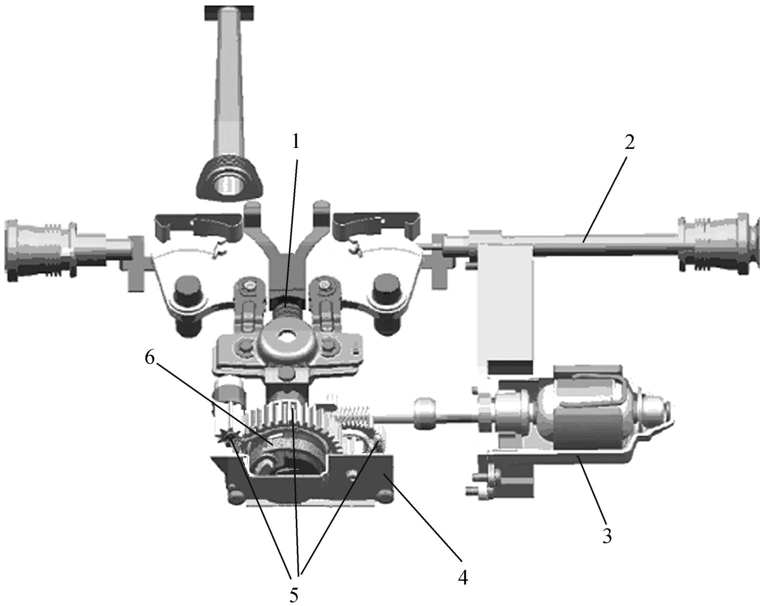


图 3-50　EMF 内部部件

1—丝杆　2—拉索　3—伺服电动机　4—缠绕式弹簧盖罩　5—塑料齿轮　6—缠绕式弹簧

2）紧急解锁装置。如图 3-51 所示，直接操纵驻车制动器的传动装置，可将整个驻车制动器松开。紧急解锁时可通过一个导向管将一个加长杆推入紧急解锁齿轮内，这个加长杆单独放在随车工具箱内。

插入方向由位于变速装置对面壳体侧的辅助导向件决定。使用随车工具中的呆扳手和螺钉旋具手柄即可转动变速装置。向逆时针方向旋转松开制动器。集成在解锁工具内的推力弹簧用于防止工具忘记取下时一起转动。

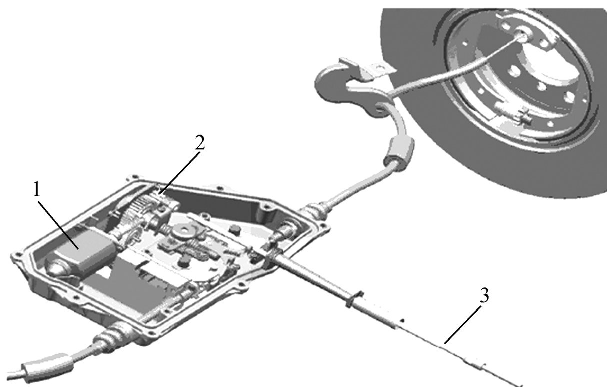


图 3-51 与鼓式制动器连接在一起的伺服单元

1—伺服电动机 2—齿轮紧急操作装置 3—紧急解锁工具

提示：通过紧急解锁装置松开制动器后如果供电有故障可能还是无法开动车辆，因为自动变速器的驻车锁止器可能仍处于锁止状态。

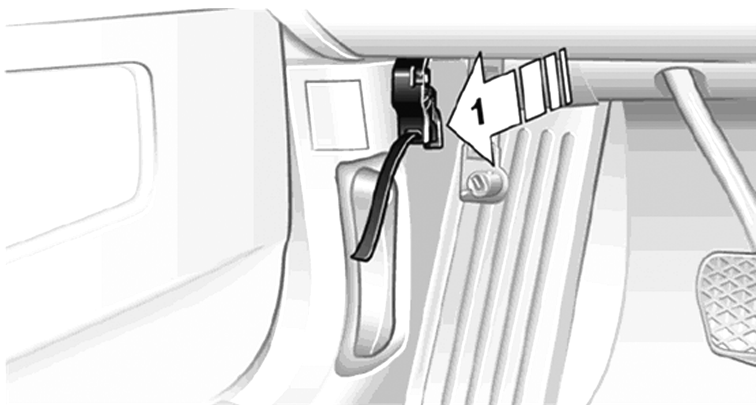


图 3-52 通过操纵杆 1 将驻车锁止器紧急解锁

3）驻车锁止器的紧急解锁装置。如图 3-52 所示，如果驻车锁止器无法再用液压方式松开（蓄电池、发动机、发动机电气系统、变速器电气系统失效等），那么为在必要时能牵引车辆或推移车辆，车辆上预先装备了一个手动紧急解锁装置。为牵引车辆，即使变速器控制系统功能正常也必须操纵紧急解锁装置，因为根据故障情况，尽管可能识别到输出转速，但无法在整段时间内保证 N 位的保持功能。

变速器手动紧急操作装置位于驾驶员脚部空间左侧，打开一个盖罩后，可拉动一条红色的带子，将解锁拉杆转出并卡住，然后才可以移动车辆。在美规车辆中，这个盖罩锁着，只能用点火钥匙打开。

紧急操作后重新试运行：

如果紧急操作后重新保证了供电，那么必须按压驻车制动按钮 3 次，第一次按压控制单元希望松开制动器，但是制动器已经通过紧急解锁装置被松开，以电动机不会往回运转而向着卡止方向运转，控制单元识别到一个不可信状态；第二次按压按钮，电动机可以向前运转，制动器接合，控制单元识别到这种情况；第三次按压按钮电动机可以往回运转，制动器再次松开，重新建立运行模式。

附加控制单元集成在伺服单元内，通过 CAN 与 DSC 控制单元和车辆外围设备（组合仪表、DME、变速器的控制单元）连接。DSC 控制单元内的 ECD 接口（电子减速控制系统）用于液压制动控制。发动机运转时，按压驻车制动按钮即可要求建立固定的制动压力，此压力由 DSC 液压组件建立并被传送到驻车制动器。在驻车制动器控制单元内计算作用在丝杠上的力。此作用力是通过测算电动机耗电以及电动机线圈的温度得出的。根据电动机的“转速-转矩”特性曲线，分析转速下降时的转矩即可计算其操纵力。

此外在电动机上还有一个用于探测转速和位置的霍尔传感器。

3. 雷克萨斯 LS460L/460 电动机械驻车制动器

新款 LS460L/460 采用了电动机械驻车制动。通过操作电动执行器进行驻车制动，从而使手动操作减少，减轻了驾驶员的负担。

电动机械驻车制动有手动和自动两种操作模式。在手动模式下，驾驶员操作手动开关以根据需要锁定和解除驻车制动。在自动模式下，驾驶员操作 AUTO 开关，使其根据变速杆的工作情况自动锁定和解除驻车制动。

此外，无论电动机械驻车制动开关状态如何，电动机械驻车制动器与制动保持功能协作时都具有锁定驻车制动的功能。如果驻车制动 ECU 检测到故障，则执行失效保护控制。

图 3-53 为电动机械驻车制动器电控系统组成框图。

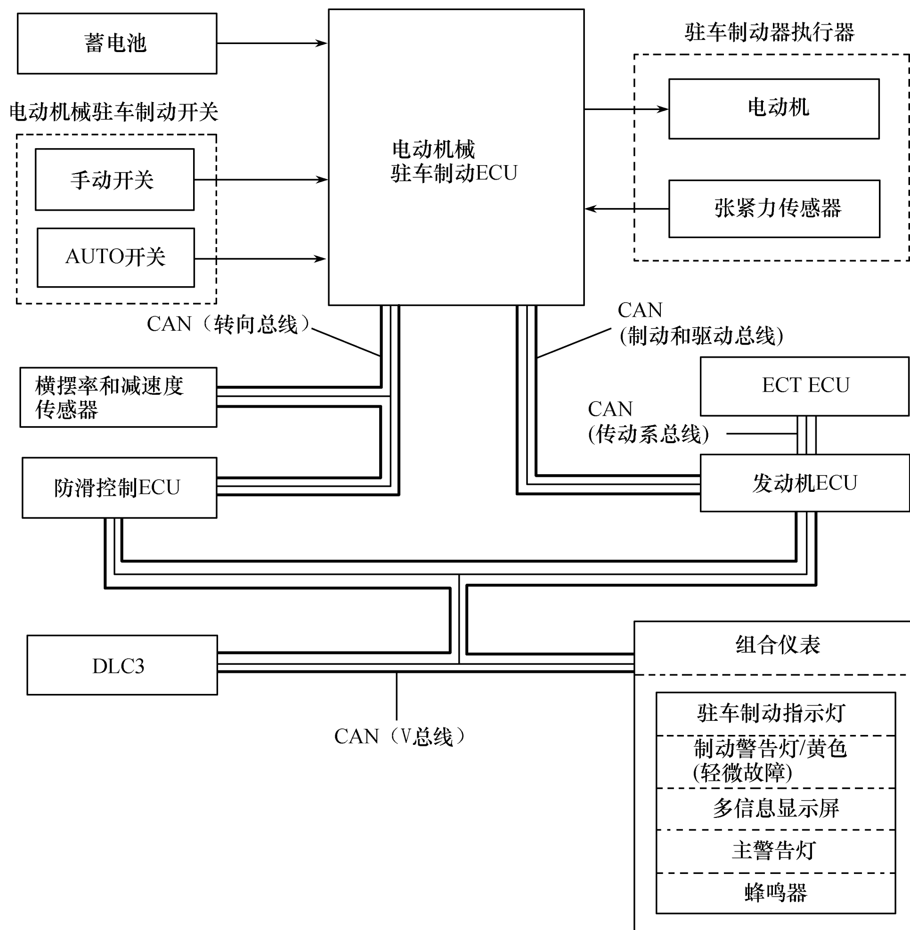


图 3-53　雷克萨斯 LS460L/460 电动机械驻车制动器电控系统组成框图

电动机械驻车制动系统主部件位置分布图如图 3-54 所示。

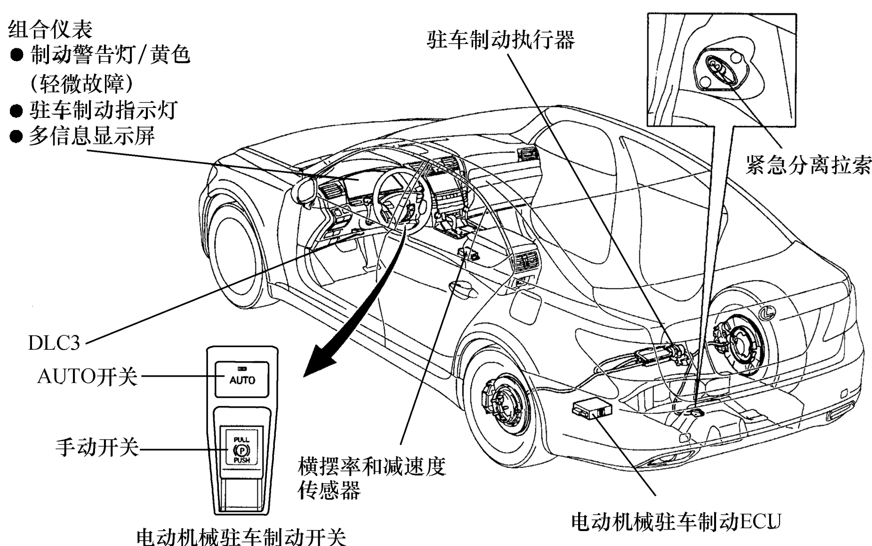


图 3-54 雷克萨斯 LS460L/460 电动机械驻车制动系统主部件位置分布图

电动机械驻车制动系统主要部件的功能如下：

1）电动机械驻车制动 ECU。根据来自电动机械驻车制动开关、各 ECU 和传感器的信号，操作驻车制动执行器以锁定和解除驻车制动。

2）驻车制动执行器。包括电动机、张紧力传感器、紧急分离拉索。电动机根据来自电动机械驻车制动 ECU 的信号，旋紧和旋松驻车制动拉索。张紧力传感器用于检测驻车制动拉索张紧力。紧急分离拉索的作用是当电动机械驻车制动系统出现故障时，驾驶员可转动紧急分离拉索以手动解除驻车制动。

3）电动机械驻车制动开关。有手动开关和 AUTO 开关。向下推手动开关时锁定驻车制动，向上拉手动开关时解除驻车制动。AUTO 开关用于启用和禁用换挡联动功能。当 AUTO 指示灯亮起时，提示驾驶员可启用自动操作。

4）ECT ECU。通过发动机 ECU 发送挡位信号。

5）防滑控制 ECU。检测轮速，并判断是否踩下制动踏板。

6）横摆率和减速度传感器。通过检测车辆的倾斜度来判断路面的坡度。

驻车制动执行器的结构如图 3-55 所示。当接收到来自电动机械驻车制动 ECU 的锁定信号，驻车制动执行器将通过转动电动机来使电动机械驻车制动轴旋转。这样，驻车制动拉索旋紧进而锁定驻车制动，如图 3-56 所示。电动机停止转动时，驻车制动执行器内的离合器向外延伸以抵住电动机室，从而保持驻车制动拉索的张紧力。该离合器的形状类似于螺旋弹簧。为防止阻碍电动机转动，离合器被向内压。

解除驻车制动时，电动机按与锁定时相反的方向转动。这样，减小了驻车制动拉索的拉紧力并解除了驻车制动，如图 3-57 所示。

霍尔集成电路型张紧力传感器由磁铁和霍尔集成电路组成。霍尔集成电路根据磁通密度检测驻车制动拉索的张紧力，该密度随拉索的运动而变化。

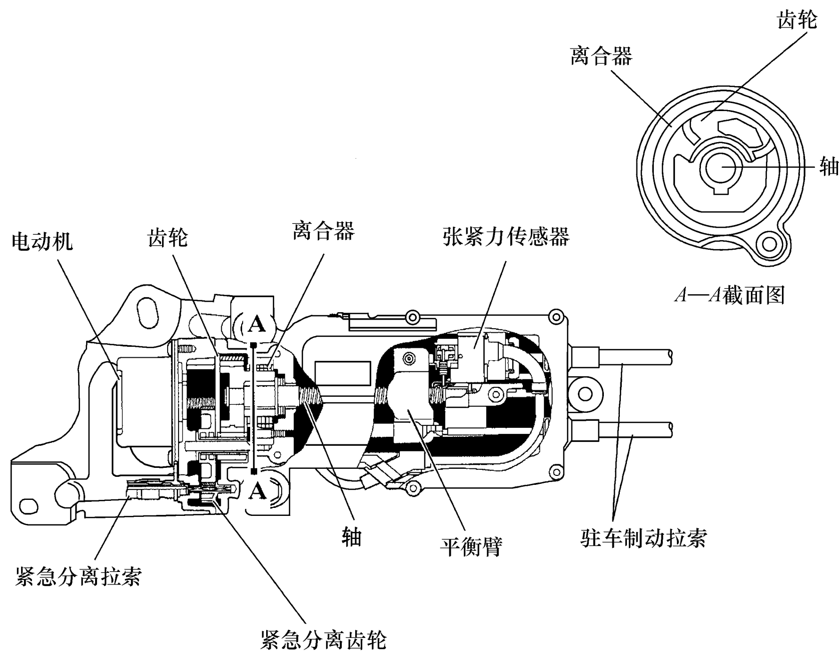


图 3-55　电动机械驻车制动执行器

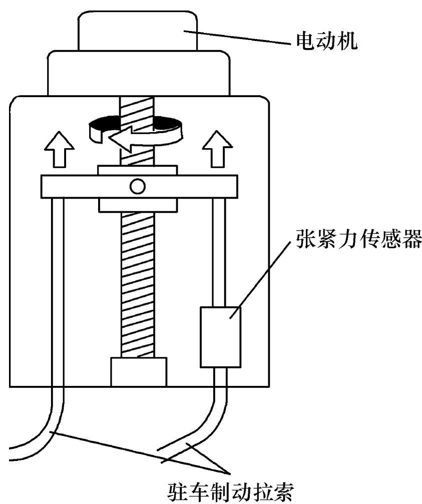


图 3-56　驻车制动运行时

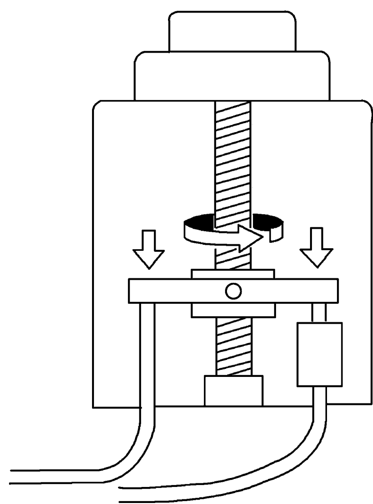


图 3-57　驻车制动解除时

如果电动机械驻车制动系统出现故障，则可通过车载的精密工具手动解除驻车制动。但进行此操作前，必须按下并逆时针转动紧急分离拉索。由于按下拉索，拉索的转动传递到紧急分离齿轮。然后电动机械驻车制动齿轮带动电动机械驻车制动轴旋转，以放松驻车制动拉索，如图 3-58 所示。

顺时针转动紧急分离拉索会使加到拉索上的力过大，可能导致拉索断裂。因此，切勿顺时针转动拉索。

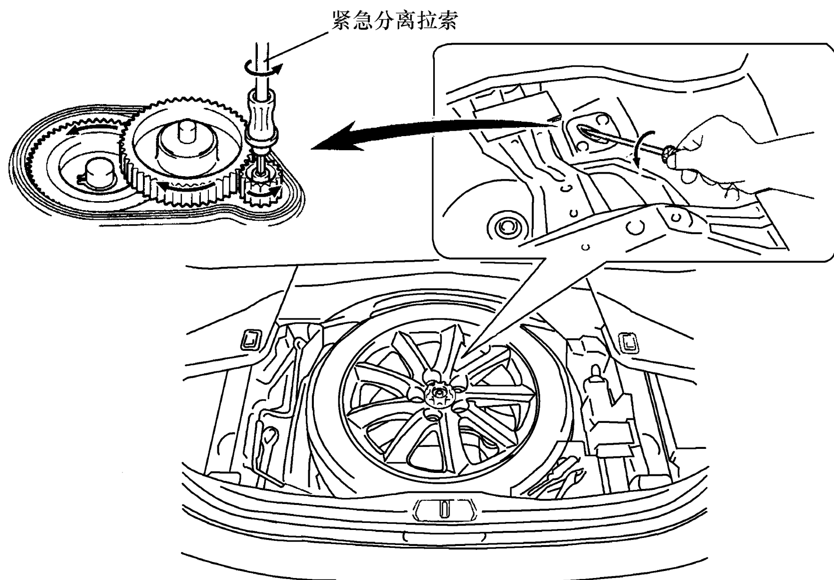


图 3-58 驻车制动的手动解除

张紧力传感器为霍尔集成电路型，如图 3-59 所示。该传感器与平衡臂连接，以检测左驻车制动拉索的运动。由于电动机的运转平衡臂向左移动时，轴和内置式磁铁也向同一方向移动。轴向左移动时，壳体也通过弹簧的作用向同一方向移动，从而拉动驻车制动拉索。弹簧根据驻车制动拉索的张紧力进行压缩，导致壳体和磁铁的位置发生了变化，从而磁通密度改变。霍尔集成电路检测到磁通密度改变，并将该信息转换成电信号，然后将信号发送到电动机械驻车制动 ECU。驻车制动 ECU 根据来自霍尔集成电路的信号计算驻车制动拉索的张紧力。

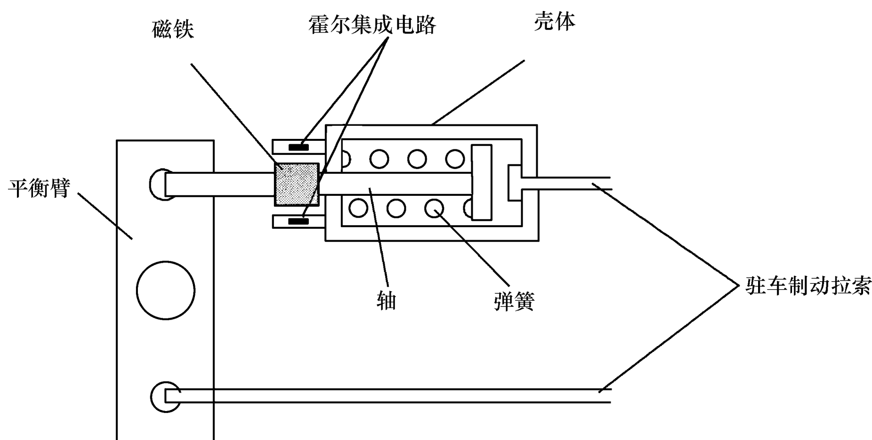


图 3-59 驻车制动执行器中的张紧力传感器

驻车制动指示灯、制动警告灯（黄色 轻微故障）和多信息显示屏位于组合仪表上。驻

车制动指示灯亮起以提示驾驶员正在进行驻车制动。如果驾驶员向下推手动开关时未进行驻车制动，则电动机械驻车制动 ECU 将使驻车制动指示灯闪烁。如果电动机械驻车制动 ECU 检测到故障，则它将通过以下两种方式警告驾驶员：组合仪表上的制动警告灯（黄色　轻微故障）亮起，或多信息显示屏上显示“Check Parking Brake System”警告信息。同时，DTC（故障码）存储在存储器中。

三、故障实例

迈腾轿车自动驻车系统故障 1 例

1）故障现象。一辆 2007 年产一汽大众迈腾 1.8T 轿车，行驶里程 3.7 万 km。用户抱怨前照灯开关左侧的 EPB 电子机械式驻车系统按键 E538 按下不起作用，而且变速杆旁的 AUTO HOLD E540 按键按下也没有反应，同时仪表上的黄色驻车灯 K213 点亮。此故障偶尔会出现，故障出现后，车辆行驶一段距离故障一般会消失，当 EPB 按键恢复正常时，AUTO HOLD 按键也恢复正常。

2）检查分析。连接故障诊断仪 V. A. S5052 进行诊断，输入地址码 53 进入 EPB 系统，系统内存储 2 个故障码，分别是 02434（左侧通道供电控制单元断路/对地短路）和 02435（右侧通道供电控制单元断路/对地短路）。简单地讲，EPB 系统的控制程序是由 E538 按键发出请求信号，信号传递到电子机械式驻车制动控制单元 J540，再由 J540 发出执行信号到左后轮驻车制动电动机 V282 和右后轮驻车制动电动机 V283，整个控制过程比较简单。AUTO HOLD 自动驻车功能作为 EPB 系统的一个强化功能，首先由 J540 通过 CAN 总线收集满足 AUTO HOLD 工作的条件，当按下按键 E540 时，信号传递到 J540，由 J540 通过 ABS 控制单元 J104 对左、右制动器执行控制。

由驻车制动控制电路图（图 3-60）可以看出，故障码应与熔丝 SC29 和 SC30 供电的 2 条线路有关，还与后轮驻车制动电动机 V283 和 V282 以及相关线路有关。如果将熔丝 SC29 和 SC30 同时断开，EPB 控制单元 J540 无法通信，而且 ESP 警告灯亮起；断开其中任意一个熔丝，相应一侧的电动机不工作。首先检查 2 个熔丝供电（正常，均为 12 V），再检查 J540 的 T30/13 端子与 T30/15 端子的供电（正常，均为 12 V），这说明线束无断路，线路阻值小于 1.5 Ω。再检查 V282 与 V283 的线路情况，T30/14 端子与 T2an1 端子、T30/29 端子与 T2an2 端子、T30/12 端子与 T2ao1 端子、T30/27 端子与 T2ao2 端子之间电阻均小于 1.5 Ω，而且无短路或断路现象。检查至此，电动机 V282 与 V283 的电源线路确定没有问题。读取数据流，数据流显示 EPB 按键 E538 状态错误，于是笔者决定按照电路图检查按钮按键 E538 与 J540 之间线路。

测量显示：J540 的 T30/20 端子与按键 E538 的 T10i/2 端子之间导通，J540 的 T30/11 端子与 E538 的 T10i/5 端子之间导通。对于按键 E538，释放开关时电路走向：T30/19→T10i/6→T10i/2→T30/20；按下开关时电路走向：T30/18→T10i/4→T10i/5→T30/11。AUTO HOLD 按键 E540 按下时，电路走向：T30/11→T6h/5→T6h/4→T30/9。经过检查 E540 与 E538 开关线路均正常，于是决定更换 J540（图 3-61）。

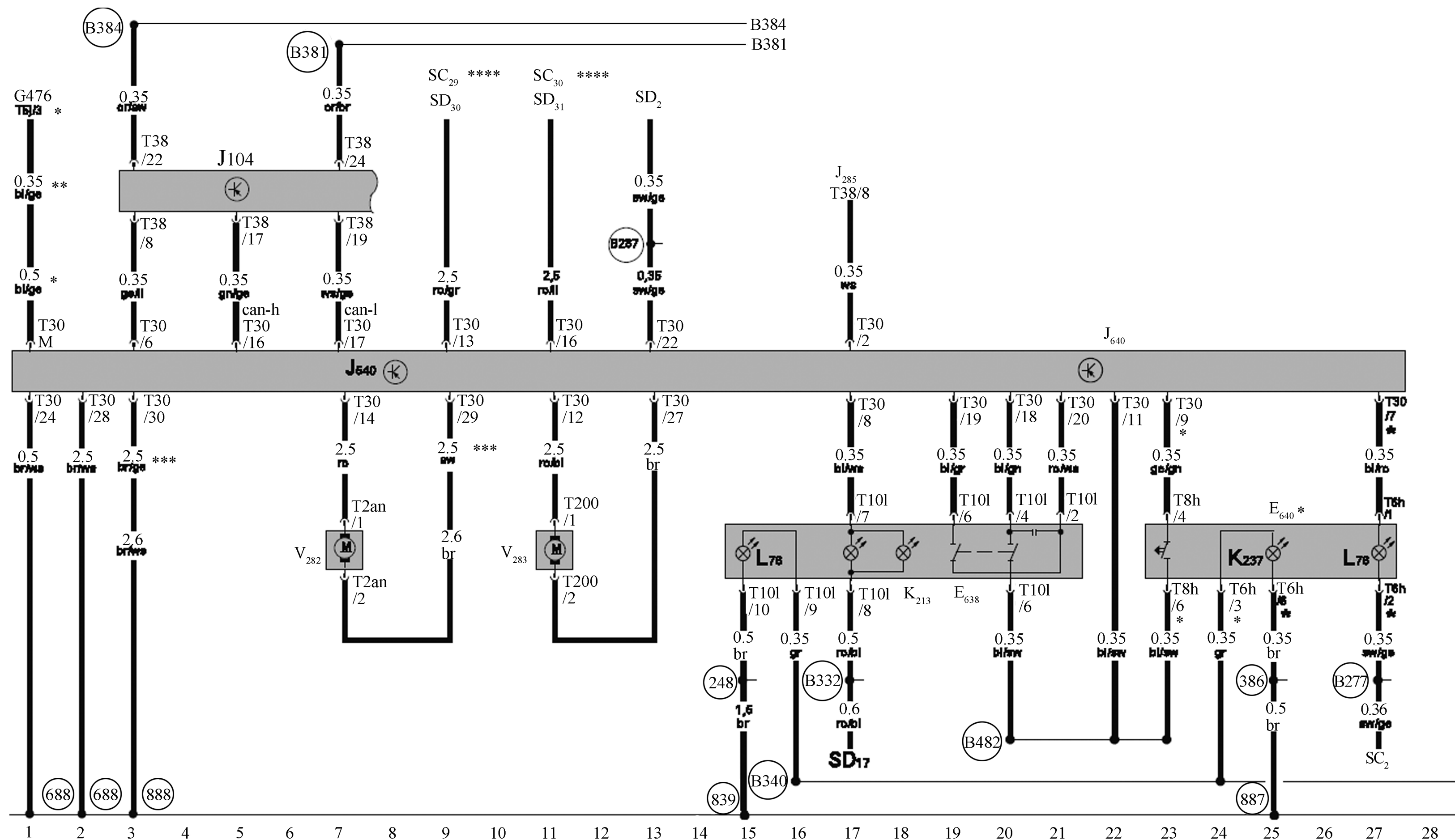


图3-60　驻车制动控制电路

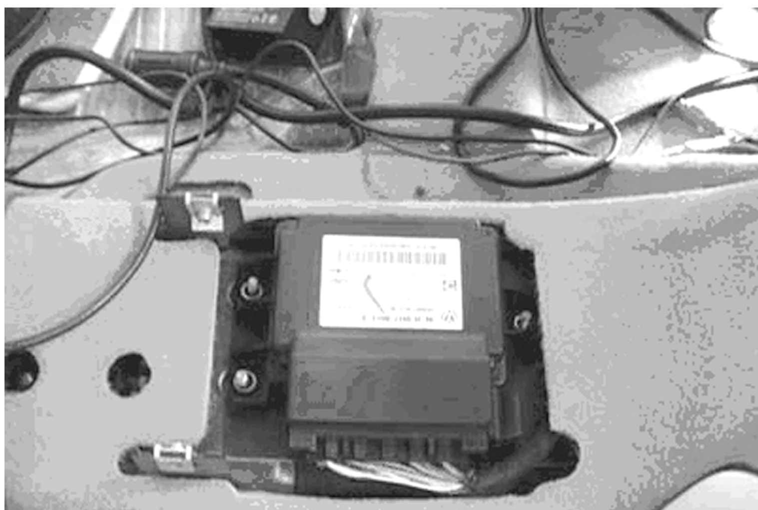


图 3-61　电子机械式驻车制动控制单元 J540

3）故障排除。更换 J540 后，需要进行多项设定，设定完成后故障排除。

4）设定。下面对更换 J540 后需要进行的设定进行介绍。

更换 J540 后首先需要对 ABS 系统和 EPB 系统进行编码，查看 2 个控制单元内存储有多个未进行设定的故障码，故障码无法清除，这是因为 J540 内部集成了横摆率和减速度传感器，于是先进行传感器的基本设定。执行 03-11-40168-04-60 对 G85 进行设定，03-11-40168-04-61 对减速度传感器进行基本设定，03-11- 40168-04-66 对制动压力传感器进行设定。进行完上述设定后，在存储器里还有仪表的 K213 与驱动防滑灯亮，03-10-61-0 进行设定后，驱动防滑灯熄灭，而且 ABS 控制单元内无故障码存储。仪表的 K213 还是点亮，查看 EPB 系统里面有 01087 故障码（未执行基础设定），于是对 EPB 系统进行功能引导基本设定。以上设定完成后，车辆一切恢复正常。

第四章 汽车振动、噪声综合故障的诊断与分析

一、汽车振动、噪声、乘坐舒适性差的现象、原因与机理分析

汽车运行中产生的典型振动和噪声如下：车身振动、转向摆振、转向振颤、加速踏板振动、变速杆振动、乘坐不舒服、平顺性差、道路噪声、轮胎花纹噪声、车身振动噪声、车身拍击噪声、风声、制动时振动、制动尖叫声、发动机噪声、变速器齿轮响声、差速齿轮响声、离合器抖动（振颤）、取力振动（加速振动）、起动振动、怠速振动。由于发动机噪声、变速器齿轮响声、差速齿轮响声、离合器抖动（振颤）、怠速振动等在前述章节中有介绍，这里不再赘述。

1. 车身振动

1）现象。车身和转向盘产生垂直振动或横向振动，伴随座椅振动。车速低于 80km/h 时，一般感觉不出晃动。超出这种车速，晃动明显增加，到一定速度时会出现最大晃动。振动频率和用气动冲击式套筒扳手拧紧螺母时产生的振动频率相似。

2）主要原因

①轮胎圆跳动误差过大，不平衡度或不均匀度太大。

②发动机、悬架弹簧、转向盘、座椅和车身产生共振。

3）机理。轮胎圆跳动误差过大和不平衡性在车辆行驶时使轮胎产生一种振动力。此振动被放大，随之引起车轴振动。车轴振动通过悬架被传递到车身和发动机。传递的振动与车身产生共振，车身振动更剧烈。此外，当车轴振动与发动机振动形成共振，引起发动机严重振动，会更加引起车身振动。车身振动传递到转向盘和座椅，引起车身、座椅、转向盘振动。

2. 转向摆振

1）现象。转向摆振是指转向盘在转动时以 5～15H_z 的频率振动。它较易出现在相对有限的高速行驶中。一般车速在 80km/h 转向盘振动频率保持稳定。

提示：

出现的摆振现象和用气动冲击式套筒扳手上紧螺母时出现的振动情况相似。

2）主要原因

① 轮胎不平衡性、圆跳动误差过大或不均匀度过大。

② 轮胎和转向盘之间产生共振。

3）机理。轮胎跳动和不平衡性使车辆行驶时产生一种振动力。此振动力使主销产生一种惯性力矩，引起轮胎横向振动，由此引起转向盘横向振动。此时的转向轴、转向齿条和横拉杆起到一种刚性弹簧的作用，转向盘起到重物作用。

在一定速度下，由于离心力作用而产生的轮胎横向振动与转向系统产生共振，引起转向盘顺时针和逆时针振动。

3. 转向振颤

1）现象。这种情况是转向盘出现顺时针和逆时针振动，与转向摆振类似，但出现在车速低时；一般在 80km/h 以下车速时出现这种情况。当轮胎或制动器出现不均匀磨损时，在粗糙路面上或进行制动时会产生这种振动现象。

2）主要原因

① 行驶在坎坷不平路面上。

② 轮胎或制动器发生不均匀磨损，进行制动时引起变形或突然垂直振动。

③ 轮胎、转向系统和悬架产生共振。

④ 转向传动杆系有游隙，或转向传动杆系硬度和刚度不足而使阻力下降。

3）形成振动的力学因素。坎坷不平路面上行驶时，轮胎变形或制动时出现垂直振动，会造成前主销振动，引起转向盘摆动。这些零件传递振动，出现类似转向振颤那样的现象。

提示：

虽然转向振颤和转向发抖似乎相似，但还是不一样。振颤是由于轮胎不平衡性、跳动或不均匀磨损使转向系统与轮胎振动发生共振而将力作用在转向盘上。而转向抖动是在坎坷不平路面上或进行制动时产生的一种自激振动现象。

4. 加速踏板振动

1）现象。这是发动机转速较高时出现的一种高频振动现象，与车速无关。把脚放在加速踏板上会感到这种振动，但在踏板的压下方向不会产生很大的脉动。

2）主要原因

① 发动机振动。

② 节气门拉索或连接杆系发生振动或共振。

③ 节气门拉索或连接杆系刚度不足。

3）形成振动的力学因素

① 发动机振动引起节气门拉索或连接杆系振动。

② 节气门拉索或连接杆系振动被传递给加速踏板，引起加速踏板振动。

5. 变速杆振动

1）现象。变速杆振动一般在发动机高转速下出现。也可能是在改变发动机转速时出现振动或发动机怠速时出现变速杆振动。

2）主要原因

① 发动机运转不协调。

② 发动机旋转件或往复运动件不平衡性。

③ 变速杆发生共振或刚性不足。

④ 变速杆和连接杆系之间有游隙或衬套磨损。

3）形成振动的力学因素

① 前置发动机后轮驱动的车辆。发动机转矩波动或旋转件与往复运动件的不平衡性，使驱动系产生弯曲振动。而且传动轴万向节夹角或传动轴不平衡性也会加大振动。变速器连接壳严重振动产生的力，传递给变速杆。因变速杆装在变速器连接壳上，所以造成变速杆振动。变速杆内有间隙进一步加大振动程度。

②在前置发动机前轮驱动的车辆上，发动机运转不平稳，引起变速杆总成振动。

6. 乘坐不舒服

1）现象。这里对车辆振动内容涉及不多，但涉及整车的跳动和横向摆动，就是说，路面不平整现象引起的上述问题会传递给车身。当车辆按规定速度行驶在不平路面或坎坷路面上就会出现上述问题。

2）主要原因

① 行驶在坎坷或不平路面上。

② 轮胎振动。

③悬架振动。

3）舒适性差的形成。在坎坷不平路面上行驶时车身产生横摆。把产生的振动传向悬架系统。悬架的振动引起车身反复跳动，使乘员感到车辆在摇晃。

簧载质量和非簧载质量影响乘坐舒适性。一般地说，簧载质量较大时，车身振动较小，感到乘坐舒适。如果非簧载质量较大时，乘坐舒适性较差。如果减振器阻尼力减弱或弹簧力太强，会使人感到“浮起”或“颠簸”。因此乘坐舒适性较差。至于乘坐舒适性差，由于悬架技术条件根据车辆设计（跑车型、家庭使用型等）而变化，所以应考虑到用户要求和车辆类型。虽然振动可分为许多种类型，如俯仰、横摆和上下跳动，实际上它们可能会同时出现。

7. 平顺性差

1）现象。所说的平顺性差是指单行程冲击，比如用锤子敲打一个物体所产生的撞击，伴随有一种响声，通过转向盘、座椅和车地板都能感觉到这种撞击。车辆行驶过一个凹坑和坎坷不平路面时会出现这种撞击感。

2）主要原因

① 轮胎的本身特性引起的。

② 悬架构件（衬套、减振器等）发生磨损。

3）噪声和振动形成机理。当车辆行驶在凹凸不平或有沟坑路面上时，轮胎出现纵向撞击，引起轮胎截面变形。这种突然撞击被传递到悬架臂，使悬架衬套压缩，把噪声和振动传递给车身。

提示：悬架臂衬套特性、形状和弹簧工作稳定性对平顺性差的出现有决定性作用。

轮胎特性主要指振动传递性能与包绕特性，振动传递性能差的轮胎对振动有吸收能力，通常这些轮胎是软轮胎。包绕特性好的轮胎，不易将撞击传递到悬架。轮胎运行在一种坎坷不平或有沟坑路面上产生的撞击力是轮胎振动传递和包绕特性的一种合力。基于这种理由，子午线轮胎包绕特性不如斜交轮胎，在路面上滚动通过一个沟坑或凹凸不平路面时，在车速低时会把撞击传递到悬架。但在高速时，这种软侧壁子午线轮胎能吸收这种撞击力。

悬架臂衬套中的纵向切口被设计成能缓冲前后撞击力，即衬套弹性可吸收施加给车辆的撞击力。内环可提供横向刚性。

8. 道路噪声

1）现象。恒定的俯仰振动中发出的连续轮胎噪声或轰鸣声就形成道路噪声，该噪声随车速提高而变大。车辆在铺设不好的路面上行驶时会产生道路噪声。

2）主要原因

① 路面上有小凸块或小凹坑。

② 轮胎与这类不规则物体产生共振。

③ 悬架振动（由于橡胶衬套弹性不稳定）。

3）噪声形成机理

① 车辆在铺设不好的路面上行驶，轮胎产生小振动。当振动达到一定频率时与轮胎形成共振，就会放大振动量。

当车辆通过有凹纹的路面或特殊结构的路面时，就会产生噪声。轮胎下面的空气被压入凹纹，然后空气在突然释放出来时就产生噪声，路噪通常与胎面花纹噪声很相似。

② 这些振动通过悬架传递到车身，车身钢板产生轰鸣声。

9. 轮胎花纹噪声

1）现象。车辆行驶在铺过的道路上，带有块状或耳状花纹轮胎的车辆常会产生这种噪声。随着车速增加，噪声变大。

2）主要原因。胎冠花纹起到气泵那样的作用。

3）噪声形成机理。轮胎在路面上转动时，在胎冠槽沟内滞留有空气，轮胎与路面接触时空气被压缩。压缩的空气突然从胎冠中放出，这种现象叫做“气泵作用”，被放出的气体会扩散，产生一种爆裂声。这种声音的放大，会产生一种轰鸣声。

提示：带有容易滞留气体的花纹轮胎，易产生很响的轰鸣声。换句话讲，带有块状或耳状花纹胎冠的轮胎，比带有肋状花纹胎冠的轮胎更容易产生噪声。

10. 车身振动噪声

1）现象。这种噪声使耳朵有一种压迫感，开始感觉不到。振动频率随车速提高而增加。在较窄的车速范围内，比如在10km/h或发动机转速为1500r/min左右会出现这种噪声。在以前大都体验过，当驾驶爬一高坡或以高速通过一条隧道时，气压快速改变对耳膜产生一种压迫感，这会使耳膜产生变形。车身振动噪声也会对耳朵产生类似压力，这是由于车内气压产生很大波动所致。

2）主要原因

① 发动机运转不协调。

② 由于活塞往复运动产生的惯性或发动机的不平衡性。

③ 不平衡的汽车传动轴。

④ 传动轴万向节夹角不正确。

⑤ 排气管发生共振。

⑥ 排气噪声。

⑦ 发动机附件发生共振。

⑧ 在传动轴和驱动轴上有扭应力而产生振动。

3）机理

① 传动轴万向节夹角。传动轴存在万向节夹角不正确的状况下，传动轴每旋转一次都会出现两次扭力波动。如果万向节夹角增大，这种扭力波动也更大。按照一定车速，这些扭力波动使驱动系产生振动，这些振动传递到后悬架衬套或弹簧，引起车身板振动，导致车身振动噪声。

② 传动轴不平衡。传动轴不平衡而产生的离心力，使传动轴两端向外弯曲。传动轴每旋转一圈，都会引起轴振动一次。这种振动产生的力通过发动机后支架、传动轴的中间支承、后悬架衬套传递到车身板，使车身板振动，产生车身振动噪声。

③ 排气管振动。排气管又长又窄，容易产生振动。引起排气管严重振动的另一重要因素是来自发动机，是汽车最大的振动源。当排气管与发动机振动形成共振，使振动变大，通过O型环、消声器夹紧件，把振动传给车身，形成车身振动噪声。为将此噪声部位隔离，应逐一取下O型环。

④ 发动机附件振动。如果交流发电机、动力转向泵或空调压缩机安装支架的制造材料刚性不足，这些安装支架会与发动机振动形成共振，通过发动机悬架把振动传递给车身，造成车身振动噪声。

提示：

车身振动噪声可能与发动机转速有关或与一定车速有关。可用发动机重新起动时是否出现车身振动噪声方法和惯性滑行时是否出现车身振动噪声的方法来区分。

11. 车身敲击噪声

1）现象。这种噪声的音量（幅值）周期性地改变，并以声波的形式传递。噪声频率随车速增加而变大。以一定的发动机转速和/或车速状态（在一个较窄范围内）出现这种噪声。由于这种噪声以周期性高音和低音形式出现，所以即使是很弱的车身敲击噪声，也能感受到。

有两种单独声音频率A和B稍有不同并且同时出现，音量呈周期性变化，这样会产生一种敲击噪声。两种不同振动频率A和B的波峰（或波谷）重叠时，这时的噪声很响。两种不同振动频率的波峰和波谷重叠时，噪声很小。

敲击噪声频率表示如下：

频率A-频率B=敲击噪声频率。

最容易感受到的敲击噪声频率是2～6Hz。

2）主要原因。车身拍击噪声常由变矩器滑动、变速器齿轮传动比引发的振动、带轮传动比造成的振动和差速器减速比造成的振动引起。

① 变矩器滑动

a. 不平衡引起噪声。如果泵轮不平衡或涡轮后面的其他元件比如传动轴不平衡，都会引起振动。

由于变矩器自然地产生打滑现象，泵轮和传动轴之间相对不平衡，会逐渐出现绕其共同轴线振动现象。

泵轮不平衡相对于传动轴不平衡性而言是出现在其对侧时，其振动比不平衡性都出现在同一侧时要小。

这两种变化着的振动情况通过发动机后支撑件或悬架臂衬套传递给车身板而产生敲击声。

b. 转矩波动产生噪声。除了前面提到的由于不平衡性引发振动之外，由发动机转矩不稳、变矩器打滑和万向节夹角产生转矩波动而形成的，综合因素也会产生一种振动，使车身产生敲击噪声。比较适用的办法是从传动轴侧面进行修理而不从发动机内部进行修理。

② 变速器齿轮传动比引发振动。除了有变矩器打滑产生的车身敲打噪声，变速器齿轮传动比（比如自动变速器超速运转或在手动变速器由第5挡运转）有时会引起发动机振动频率接近驱动系统振动频率，导致车身敲击噪声。.

③ 带轮传动比造成的振动。如果附件带轮直径和曲轴带轮直径相互接近于整数的倍数（如2或4），那么发动机振动频率和附件振动频率之间的差别就很小，形成合力使车身产生敲击声。这种情况下，一次取下一根驱动带。以便确定出声源，把有问题的带轮进行隔离噪

声处理。.

④ 差速器减速比造成的振动。由于差速器齿轮传动比的原因，由轮胎不均匀性产生的振动频率和发动机（或传动轴振动频率）造成的振动频率相互接近一致，也会造成车身板的敲击声。

为确定敲击声是否由变矩器打滑引起，只需改变脚踏加速踏板的力。如果此法能改变噪声频率，就能消除噪声源。

如果传动轴万向节夹角过大，由于变矩器打滑，更容易使 4 缸发动机产生车身敲击噪声。

由于车身敲击噪声由两种不同振动噪声引起，或者扩大这两种振动频率之间的频率差，或者减小其中一个振动频率，都可消除车身敲击声。

驾车试验车身敲击噪声时，不能突然加速或减速，否则会使车辆或发动机超速，一旦出现超速，车身敲击噪声量会加倍。

12. 风噪声

1）现象。气流穿过车窗听到的“咝咝”噪声，在车辆高速行驶时最容易听到。车速变化或风向改变时都使这种噪声发生变化。一般地说，噪声随车速提高而变大，但是风向改变时，有时也听不到这种噪声。

2）主要原因

① 由于车身的不规则性引起空气流扰动。

② 车身板之间的缝隙产生漏气现象。

3）机理

① 车身不规则性产生气流扰动而出现噪声。空气流过车身表面上的凸起物或凹坑时，在凸起或凹坑后面出现气流紊乱现象，被扰乱的气流产生的噪声通过车门或车窗进入乘员舱。

② 由漏气产生的噪声。车辆高速行驶时，乘员舱外部气压低于乘员舱内部气压。当乘员舱内空气被压出通过车身板密封条的空隙并与外部气流接合时就产生噪声。

提示：

任何部位都可能产生风噪声，但图 4-1 中所示的部位更容易产生风噪声。

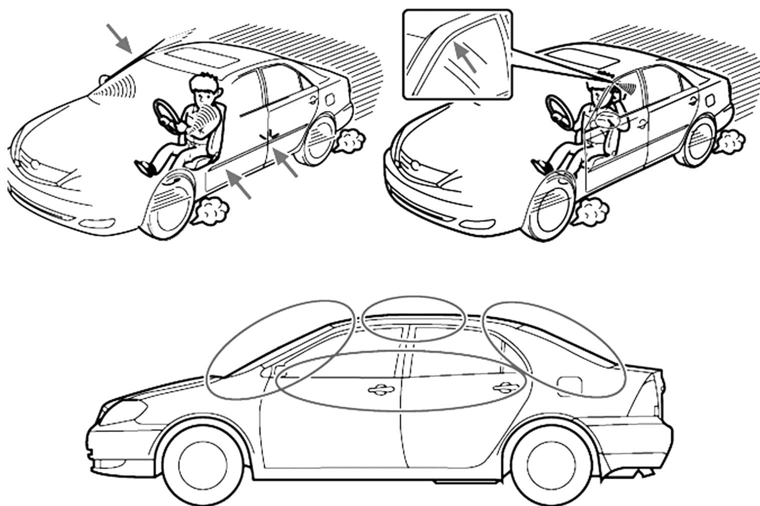


图 4-1　易产生风噪声的主要部位

解决风噪声的措施是在车身板缝隙处涂车身密封胶，或把车门或车窗找正对齐。

与旧车型比较，现代新型汽车几乎没有车身板缝隙，所以几乎没有风噪声。

13. 制动时振动

1）现象。进行车辆制动时，仪表板转向盘、座椅突然振动。同时，在制动踏板上也能感到频率相同的脉动。振动频率类似于车身摇晃频率，振动程度明显加大。当车辆从中速行驶向高速行驶变化时踩制动器，一般都会出现这种振动。

2）主要原因

① 盘式制动器制动盘圆跳动误差过大。

② 盘式制动器制动盘厚度不一致。

③ 制动鼓圆跳动误差过大。

④ 后桥半轴法兰圆跳动误差过大。

3）机理。制动盘或制动鼓制动时跳动引起制动器制动盘摩擦垫块或制动蹄振动。这些振动经过液压系统传递，引起制动踏板脉动。同时引起转向节和半轴（或轮毂）垂直摇动和前后摇动。半轴振动通过悬架传向车身，引起车身共振，增大振幅。

提示：跳动过大的车轮用凸耳螺母紧固到制动鼓上时，可能会引起制动蹄接触面变形。

14. 制动尖叫声或轰鸣声

1）现象。制动时有两种噪声：一种是高频尖叫声，另一种是低频轰鸣声。正常制动时出现高频尖叫声。对盘式制动车辆轻踏制动时也会产生尖叫声。急踩制动踏板时，车辆在停下之前会出现低频轰鸣声。

2）主要原因。制动片摩擦力或制动蹄摩擦力不稳定（由于摩擦材料硬），或由于制动器制动盘、制动鼓或制动底板刚度不足而引起共振。

3）机理

① 盘式制动器。进行制动时，盘式制动器摩擦块和转子产生的摩擦力引起盘式制动器摩擦块振动。盘式制动器制动盘与这种振动产生共振，产生噪声。

提示：有些盘式制动器采用橡胶涂层的消声垫片，有些则采用双层消声垫片。减小振动尖叫声的其他方法是，在消声垫片的两侧面涂上盘式制动器润滑脂。

② 鼓式制动器。进行制动时，制动蹄和制动鼓产生的摩擦力引起制动蹄振动。制动鼓和制动底板与这种振动产生共振而发出噪声。

15. 发动机噪声

1）现象和机理。车辆高速或重载行驶时，噪声随发动机转速提高而变大，高频噪声会使乘员舱内产生呜呜声。

2）主要原因

① 发动机产生的机械噪声。

② 燃烧噪声。

③ 风扇噪声。

④ 排气噪声。

⑤ 由空气、发动机悬置、软管和拉索传递的振动噪声。

16. 变速器齿轮响声

1）现象。齿轮啮合时产生的噪声不会给耳朵带来高压感觉。变速器齿轮响声大多是从

车地板前部传来的，在特定挡位出现。

2）主要原因

① 由于齿侧齿隙大，出现齿轮旋转不稳定。

② 变速器或传动桥壳刚性不足。

③ 发动机后悬置件刚性不足。

④ 传动轴产生共振。

⑤ 发动机悬置弹簧常数不合适。

提示：注意区别后轮驱动车辆的变速器齿轮“呜呜”声和差速器齿轮“呜呜”声之间的差别。由于这些声音相似，应区分它们的声音特点。

3）机理

① 前置发动机后轮驱动车辆。由于齿侧齿隙使齿轮发生振动，使齿轮旋转不稳定。齿轮振动产生“呜呜”声，通过变速器壳和发动机后支撑件把声音传给车身板。另外，由于传动轴和后悬架共振使齿轮“呜呜”声增大，又通过悬架把噪声传给车身。

② 前置发动机前轮驱动车辆。由传动桥壳把噪声通过发动机悬置，传递到车身。另一条噪声传递路线是从传动桥，到换挡连接件，再到车身。在乘员舱也能直接听到传动桥噪声。

17. 主减速器齿轮响声

1）现象。主减速器齿轮啮合产生的噪声是一种高频噪声，非常类似于变速器齿轮的“呜呜”声，对耳朵不会产生重压感。中等车速时，比如 40～50km/h 就能听到。在特殊车速时能听到这种噪声，与选择挡位无关。

2）主要原因

① 由主减速器齿轮啮合引起振动。

② 差速器壳刚度不足。

③ 传动轴振动。

④ 传动桥壳刚度不足。

⑤ 通过发动机悬置传递的振动。

提示：通过更换主、从动齿轮或调整它们的齿侧齿隙，可纠正主减速器齿轮的“呜呜”声。有时通过把悬架零件调整对正或把带有后独立悬架的后轮驱动车辆的差速器壳调整对正，也可消除这种噪声。对于有自动变速传动桥的前轮驱动车辆，由传动桥的中间轴齿轮产生的“呜呜”声是一种高频噪声。.

3）机理

① 前置发动机后轮驱动车辆。主减速器的主、从动齿轮啮合时，产生的齿侧齿隙使主、从动齿轮旋转速度发生变化，引起这两个齿轮产生振动。当传动轴和后悬架与这两个齿轮产生共振时，使差速器壳内的振幅变大。被放大的齿轮振动声传向车身，使差速器齿轮产生“呜呜”声。

② 前置发动机前轮驱动车辆。象变速器的“呜呜”声一样，主减速器齿轮噪声从传动桥壳通过发动机悬置，再传到车身。另一条噪声传递路线是从传动桥通过换挡连接件或速度表，再传到车身。在乘员舱也能直接听到传动桥噪声。

18. 离合器抖动（振颤）

1）现象。离合器接合过程中会出现这种振动现象。离合器一旦完全接合，前后方向的抖动就会停止。车辆重载或离合器踏板部分踏压时间过长更会出现这种抖动现象，就像交通拥挤或爬坡时出现的那种情况。

提示：

离合器抖动就像用冲击式套筒扳手拧紧螺母时产生的那种抖动情况。

2）主要原因

① 离合器摩擦片衬片损坏。

② 离合器盘跳动过大。

③ 离合器压盘膜片弹簧分离指弯曲。

④ 驱动系统产生共振。

3）机理。当离合器逐渐接合时，离合器接触面磨损使接触面产生间歇式打滑现象，造成发动机转矩传递不稳。转矩传递不稳定造成驱动系统扭振。当转矩不稳定传递和扭振互相共振时，会使转矩传递更加不稳定。转矩传递更加不稳定的状态被传递到轮胎，使车辆产生前后摇晃。

19. 取力振动（加速振动）

1）现象。车身、仪表板和转向盘在取力状态时稍有振动。当离合器逐渐接合而发动机还在怠速状态时就会出现这种振动。变速杆、前座椅、车身和转向盘也会产生振动。把脚放在后地板上也能感到少量振动。在1挡起步和节气门处于3/4至全开状态时，会产生这类振动现象。

2）主要原因

① 发动机转矩不稳定。

② 发动机悬置弹簧常数不合适。

③ 车身和转向盘之间有共振。

④ 三联式传动轴的万向节夹角太大。

⑤ 传动轴中间支承出现共振。

⑥ 三销式等速万向节的万向节夹角太大。

3）机理

① 发动机转矩不稳。取力过程中，离合器接合时，发动机转速下降。此时发动机转矩不稳更明显，使发动机沿其摇摆轴振动。

提示："摇摆轴线（侧倾轴线）"是以发动机的重力中心为基础的中心线，发动机绕此中心线摇摆。这些振动通过发动机悬置传到车身，使仪表板或转向盘振动。

② 三联式传动轴连接角度。传动轴角度（由万向节形成）使扭力施加到万向节，引起振动。突然起步时的驱动转矩会使扭力增加。中间支承与这种扭力形成共振，被放大的振动传向车身引起此类振动。

20. 起动振动

1）现象。起动发动机时，车身和座椅缓慢摇晃。只要起动，立刻出现振动，发动机起动后，立即停止。

2）主要原因

① 发动机转矩不稳。

② 车身共振。

3）机理。发动机起动时，每个气缸内压力不稳引起发动机沿其摇摆轴线摇晃。由发动机悬置使车身产生反作用力。这种力使车身振动。

提示：

如果振动伴随异常声音，必须检查发动机悬置是否调整对正，检查排气管各处是否与车身有碰撞。

21. 怠速振动

1）现象。车身、仪表板、转向盘、变速杆和座椅稍有振动。有些是连续振动，有些是断续振动。这些振动在车辆怠速运转不良时便能感觉出来。当发动机加速时振动便停止。

2）主要原因

① 发动机转矩不稳。

② 排气管发生共振。

③ 发动机悬置传递振动。

④ 排气管支架传递振动。

3）机理。发动机转矩不稳使发动机绕其旋转轴线产生振动。发动机载荷或发动机各缸工作不协调时，振动更严重。发动机振动通过发动机悬置传向车身，引起车身振动。发动机振动传向排气管，使排气管产生振动。通过排气管支撑圈又把振动传向车身。伴随着车身振动，转向盘和座椅也振动。

提示：

停车时，如接通空调，鼓风机电动机运转，自动变速器不处于N位或P位，使用行车制动或驻车制动，则较易出现怠速振动。

二、汽车振动、噪声检查诊断的一般程序

1. 问诊与确认故障现象

诊断振动故障的第一步就是识别顾客描述的具体的振动。

不妨与顾客与一起乘车，在顾客面前进行比较和解释情况。

有时，振动在一定速度下可以再现。而另外一些振动不一定如此明显，需要与用户通过路试，确定具体的振动现象。

在试图识别振动现象时，询问如下问题：

1）在什么速度下振动最严重？

2）是否可以感到振动？如果是，在何处？

3）是否可以听到振动声？如果是，噪声像什么声音？

4）发动机或车辆负荷是否影响振动？

5）振动是否在多个挡位都出现？

6）何时第一次出现振动？

这些问题的答案有助于振动的再现和诊断。

2. 判断顾客抱怨的振动、噪声问题是否确为故障

有时顾客抱怨的振动、噪声问题可能是一种“莫须有”的故障，如果怀疑振动属于正常，与装备相同的车辆振动相比较，包括如下因素：

1）车身形式。

2）发动机选装件。

3）发动机驱动附件。

4）变速器类型。

5）轮胎尺寸。

6）悬架效能类型。

7）驱动桥减速比。

重要注意事项：不得维修一种正常的状况，否则顾客可能会相信车辆真的有故障。此后，让顾客满意就极其困难。

3. 通过路试缩小故障范围

（1）路试前检查　主要是进行轮胎和车轮的检查。检查轮胎和车轮总成是否出现如下情况：

1）异常磨损，如凹形、接地扁平化、胎唇和轮胎边缘磨损。这些条件会导致轮胎发出轰鸣声、呼啸声、拍打噪声和整个车辆的振动。

2）合适的充气压。

3）轮胎侧壁凸起。切勿混淆凸起与正常帘布层接头，通常表现为侧壁上的印痕。

4）轮辋法兰变形。

通过检查轮胎和车轮总成的这些特点，可能会发现振动的原因。检查还将确保车辆能够安全地进行路试。

（2）路试的目的　路试的目的在于再现所投诉的振动，并找出改变或消除振动的任何操作条件。最为重要的是，路试将确定振动是否与发动机转速或车速有关。

路试车辆并有系统地排除不同部件嫌疑的方法来检查车辆，将重点集中在尚未排除的部位，可以加快维修工作，提高效率。

（3）确定可能存在故障的部件组　为了迅速、准确地完成路试，有条件的话在车辆上安装一部发动机转速表（如扫描工具）和电子振动分析仪（EVA）。将电子振动分析仪振动传感器放在顾客感受到振动的部位。

当找到振动与发动机转速或车速有关后，进一步分析振动，将其确定为如下旋转部件组之一：

1）发动机、离合器片（手动变速器）、变速器飞轮（自动变速器）和变速器变矩器。

2）变速器输出轴、传动轴、后桥主减速器与差速器总成。

3）轮胎、车轮、轮毂、制动鼓和制动盘。

这三组部件是产生振动投诉的主要部位。各组中的部件之间由于采用螺栓或花键连接，因而相互有关联。即每一部件组的转速完全相同。

这些类别还可进一步细分，以识别产生干扰的具体部件。重点在于测试，以找出原因并避免不必要的零件更换。

除非是在车辆停车时产生的振动，否则对于所有振动投诉，都要执行路试。

(4) 路试常用方法与程序　在诊断汽车振动、噪声和舒适性降低这类故障的路试中，最常用的路试方法与程序有慢加速测试、空挡滑行减速测试、挂低挡测试、空挡加速测试、制动力矩测试（失速试验）、转向机构输入测试、原地起步加速测试等。这些路试方法与程序有助于确定振动的部位。

1）慢加速测试。除非干扰只在车辆静止时出现，否则应该针对所有的振动问题进行该项测试。

该项路试可以识别与发动机转速或车速有关的状况。要想确定确切的振动原因，可能需要执行更多测试。

① 在光滑的水平路面上，缓慢提升到正常行驶速度。

② 查找符合顾客投诉的振动。

③ 观察出现振动时如下读数：车速、发动机转速和频率（若可能）。

接着执行空挡滑行减速测试和挂低挡测试。

2）空挡滑行减速测试。除非干扰只在车辆静止时出现，否则应该针对所有的振动问题进行该项测试。

① 在光滑、水平的道路上，加速至稍微高于振动出现时的速度。

② 将车辆挂入空挡并滑行通过振动范围。观察空挡时是否出现振动。

如果挂空挡时仍有振动，则振动肯定对车速十分敏感。

此时，如下部件为振动源的可能性已经排除：发动机、变速器飞轮（自动变速器）和变矩器。

根据症状或频率，集中维修如下部件之一：轮胎和车轮总成、变速器输出轴、后桥差速器小齿轮、后驱动桥或后驱动桥轴。

3）挂低挡测试。

① 在平坦的路面上，加速至出现相关的振动。观察发动机转速。除非干扰只在车辆静止时出现，否则应该针对所有的振动问题进行该项测试。

② 减速并安全地挂低挡至下一个挡位。

③ 在原有的发动机转速下操作车辆。如果在相同的转速下振动再次出现，则如下部件最可能是振动的原因：发动机从动附件、发动机、变速器飞轮（自动变速器）、变矩器。

④ 在较低的挡位和空挡下重复本测试，确认结果。

在有些情况下，振动还对转矩或发动机负荷以及对特定的发动机转速或车速敏感。这些振动很难诊断，需要更多测试。系统方法通常都能分离出故障。

4）空挡加速测试。该项路试是为识别振动是否与发动机转速有关而设计的。当客户投诉怠速时振动，在挂低挡测试后进行本测试。当投诉仅与车速有关时（无论发动机转速多高，仅在相同的车速下出现），本测试不一定适用。

① 缓慢提高发动机转速，同时观察振动是否符合顾客描述的情况。

② 观察产生振动时的发动机转速和频率。

5）制动力矩测试（失速试验）。

本测试为检测与发动机相关的振动，而该振动未在空挡加速测试中测得。本测试也用于对发动机负载或转矩敏感的振动。本测试可能不适于仅与车速相关的振动。操作方法与自动变速器的失速试验相同，但目的不同。

① 使用驻车制动器。

② 挡住前轮。

③ 起动发动机并怠速。

④ 将制动踏板踩到底。

⑤ 将变速杆置于 D 位。

⑥ 缓慢提高发动机转速，同时观察振动是否符合顾客描述的情况。

⑦ 观察产生振动时的发动机转速和频率（若可能）。

⑧ 如有可能，将车辆置于倒挡并重复第 5 和第 6 步。

6）转向机构输入测试。本项测试旨在确定车轮轴承和其他悬架部件对振动有多大影响，特别是与噪声，如轰鸣声、摩擦声和吼鸣声相关的振动。

① 当车辆于振动速度行驶，缓慢转向驱动车辆拐弯，先向一个方向，然后再换到另一个方向。

② 如果振动恶化或振动消失，检查如下部件为可能的振动源：车轮轴承、轮毂、轮胎胎面。

③ 当车辆转弯时，等速万向节角度增加。对于前轮驱动（FWD）和四轮驱动（4WD）车辆，当角度增加时等速万向节可能出现振动。在等速万向节上加负荷，可增大振幅。而与轮胎速度相关的第三级振动的振幅将保持不变。

7）原地起步加速测试（起步抖动）。本测试的目的在于再现称为起步抖动的振动。在某些情况下，动力系统悬置支架或排气地面回弹也可能导致振动。

① 车辆完全止动和挂挡，松开制动器。

② 加速到 4864km/h，同时观察振动是否符合顾客的描述。

可导致起步抖动的原因包括以下情况：

不正确的悬吊高度、驱动桥等速万向节磨损或损坏、发动机或变速器悬置支架接触车架、排气管吊杆和支架故障。

4. 频率分析

（1）测量或感知振动和噪声的频率　路试中，有条件的话用电子振动分析仪测量频率。如果没有电子振动分析仪，感受振动感觉或声音，要记下异常振动的感受或异常噪声的特征，以便进行振动或噪声的频率分析。

可以感受到的振动：抖动、颠簸、喘振、振颤；产生噪声的振动：隆隆声、呻吟声、呼啸声、呜呜声。

1）抖动。抖动属于一种低频振动，其频率通常为 5～20Hz。抖动有时可能在转向盘、座椅或控制台上感受到。不同的人对振动、噪声的感受可能不同，顾客可能会将抖动描述为摆振、摇摆、颤抖、摇晃、跳动。

在多数情况下，抖动是因如下部件损坏或磨损所致：轮胎、车轮、制动盘（对车速敏感）、转向横拉杆端、悬架球节、发动机（对发动机转速敏感）。

2）颠簸。颠簸的振动频率略高于抖动，通常为 20～50Hz。颠簸的感受类似于手握手锯锯物时。

3）喘振。喘振的频率略高，通常为 50～100Hz。喘振的感受类似于电动剃须刀。双手放在转向盘上、脚在地板上或坐在座椅上都可以感受到。此时，一般应检查排气系统、空调

系统压缩机、发动机等部件。

4）振颤。这是一种能够感受到的最高频率的振动。振颤有时会产生针刺的感觉。顾客会说使他的双手或双脚麻木。

5）隆隆声。隆隆声属于一种低频内部噪声，频率为20～60Hz。顾客有时抱怨耳朵有压迫感。噪声类似于保龄球在球道上滚动、闷雷声或低音鼓声。

顾客可能使用如下词汇描述隆隆声：嗡嗡声、轰鸣声、呻吟声、吼鸣声、隆隆声、哼哼声。

隆隆声可能会伴有可以感受的振动（颠簸）。

6）呻吟或嗡嗡声。呻吟或嗡嗡声是一种持续低频60～120Hz的噪声，频率比隆隆声高一点。

这种噪声类似于蜜蜂飞舞或在汽水瓶口吹气的声音。顾客可能会采用哼哼声、嗡嗡作响、共鸣声等词汇来描述呻吟声或嗡嗡声。呻吟或嗡嗡声可能伴有可感受的喘振。一般应重点检查动力系统悬置、排气系统。

7）呼啸声。呼啸声属于120～300Hz的一种中频振动。这种声音类似于风呼啸声。

8）呜呜声。呜呜声属于一种长、高音节噪声，其频率在300～500Hz的范围内。呜呜声通常与相互啮合的齿轮或齿轮噪声有关。类似的声音如蚊子、涡轮发动机和真空吸尘器的声音。

（2）从振动频率中推测振动源　经由电子振动分析仪（EVA），或基于感觉、声音确认，确定了振动频率。

汽车振动通常与部件的转速有关。利用发动机转速法或车速法，计算这些部件的转速。利用路试中发动机转速表上的读数，诊断对发动机转速敏感的振动。如果振动对车速敏感，确定轮胎的转速。只要等速操纵车辆，轮胎就会等速旋转。该速度按转数或每秒周期数测量。然后再将读数与振动频率相比较，计算可疑振动源的目标频率。将通过计算出来的频率与通过测量发现的频率相匹配，产生该频率的物体就是产生振动的振源。

如车辆行驶时出现了隆隆噪声，噪声主要是在以下情况产生的：车速为90～110km/h；挡位位于4挡，发动机转速为3550～3700r/min；且汽车不行驶时发动机加速时，噪声也不出现，但在车辆行驶时噪声就出现。

当噪声被声级仪器测出后，在车速为100km/h，发动机转速为3600r/min时测出了噪声峰值。当用频率分析仪进行测量时，认为峰值频率是60Hz。

此时计算：

发动机不平衡导致的噪声频率＝发动机转速（r/min）/60（sec）＝3600/60＝60Hz。

传动轴不平衡导致的噪声频率＝发动机转速（r/min）/［变速器传动比×60（sec）］＝3600/［1×60］＝60Hz。

计算出的频率与发动机和传动轴不平衡的频率一致，但在汽车不行驶发动机高速运转时噪声没有出现。因此，可以认为传动轴的不平衡性是振动力的根本来源。

有些电子振动分析仪的程序设计可计算可疑振动源的目标频率。可输入轮胎尺寸、驱动桥减速比、缸数、车速和发动机转速等因素，便可确定主振动频率、振幅和怀疑产生振动的车辆系统。

5. 检查

（1）轮胎和车轮检测 如图4-2所示检查下列项目：尺寸和规格、外观（划痕、变形、磨损）、轮胎气压。

如果有非正常磨损，检查车轮定位等找出原因并进行修理。在进行下一步修理工作之前，应用新的轮胎将磨损的轮胎更换。

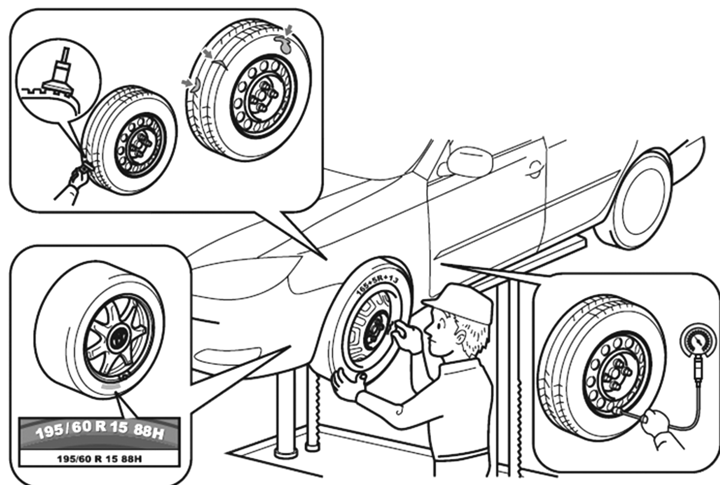


图4-2 轮胎和车轮检测

（2）悬架和转向系统检查

1）悬架定位臂检查。

2）悬架衬套检查。使用诸如轮胎撬杠之类的工具在每个安装部位检查衬套的状态。

提示：

所设计的带有凹腔的衬套是为了对来自道路的冲击进行减振。衬套应以这样的方法进行布置，凹腔的大小和方向可以降低振动和噪声。

3）减振器检查。

4）车轮轴承摆振检查。

5）转向系统检查。

① 球头节摆振情况。

② 转向传动杆摆振、损坏情况。

③ 橡胶衬套疲劳、裂纹以及硬化情况。

④ 转向器装配情况、损坏以及油泄漏情况。

⑤ 转向减振器安装条件、损坏和机油泄漏。

（3）轮毂检查

1）轮毂圆跳动检查。目标值：径向圆跳动最大0.05mm，端面圆跳动最大0.05mm。

2）轮毂和车轮装配部分的间隙检查。检查所有的间隙。每个部分的间隙不得大于目标值。

目标值：最大0.1mm。

提示：

由于车轮是按照轮毂和车轮装配部分进行定位的，因此，如果这个间隙较大，它将引起振动。

某些车轮不是原厂产品，因此它们轮毂的安装孔较大，当车辆以高速行驶时可能会引起振动。

（4）车轮定位检查　按照维修手册对车轮定位进行检查。

如果左边和右边的车轮定位存在差异，那么左边和右边轮胎之间的各种力的平衡将遭受破坏并引起振动。

如果任何一个定位值没有达到标准，那么该车辆就容易受到道路表面各种差异和变化的影响，因此振动可能就会增大。

（5）轮胎和车轮圆跳动检查　轮胎圆跳动检查如图 4-3 所示。测量轮胎/车轮总成径向圆跳动的方法有两种：在车辆上，将轮胎安装到轮毂上，车轮轴承必须处于良好的状态；在车辆外，将轮胎安装在旋转式轮胎平衡机上。

如车辆在一地方长时间停留，轮胎接地点可产生平斑情况。平斑将影响径向圆跳动读数。将车辆驾驶 10～15min，将轮胎预热，以消除平斑，然后立即将其放置在举升器上。如果轮胎胎冠的高、低部分差异量非常大，那么在检查之前应在测量部分贴上胶带。

目标值：径向圆跳动最大 0.3mm；端面圆跳动最大 1.0mm。

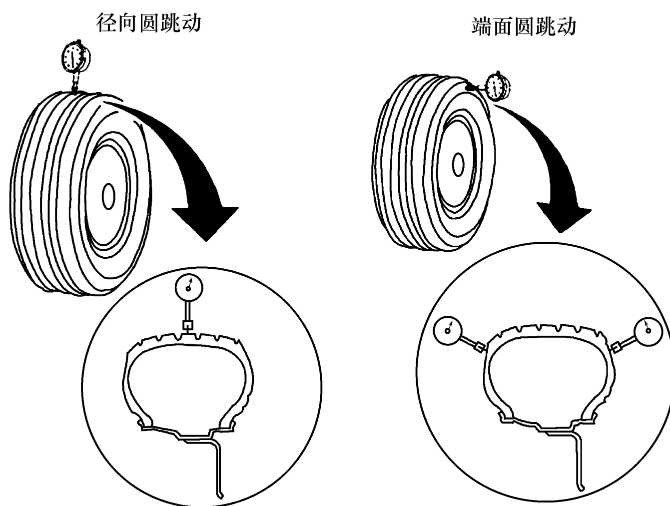


图 4-3　轮胎圆跳动检查

逐个拆卸轮胎/车轮总成。将每个总成安装在旋转式车轮平衡机上。使圆锥通过中心导孔背面，将轮胎/车轮总成固定在平衡机上。对于端面圆跳动，将百分表放置在轮胎侧壁平面处，尽量靠近胎面。对于径向圆跳动，用胶带包敷外圆周。这样，可使百分表的读数稳定。

如果车下的测量明显小于车辆上的测量，则导致径向圆跳动过大故障的原因为如下之一：双头螺柱圆周径向圆跳动过大、轮毂法兰径向圆跳动过大、车轮与车辆之间的安装故障。

按轮胎径向圆跳动的测量程序，测量车轮轮辋径向圆跳动。忽略因漆点、碎片或焊接导

致的任何圆跳动误差。

按图 4-4 所示测量内法兰和外法兰。车轮轮辋圆跳动的公差为：

径向圆跳动最大 0.5mm；端面圆跳动最大 0.5mm。

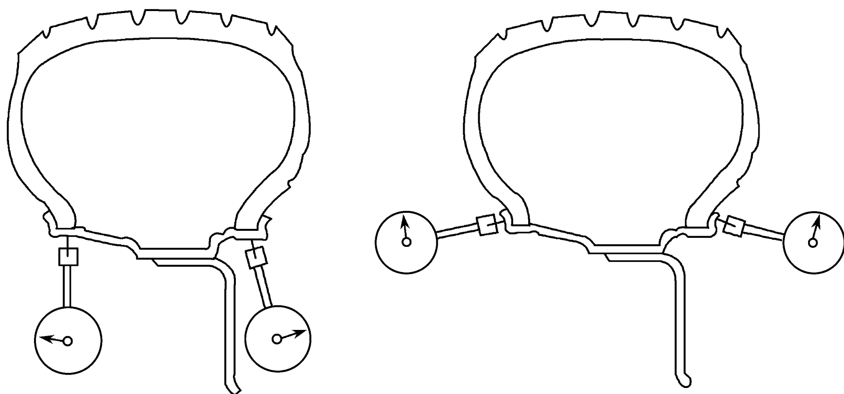


图 4-4　不拆轮胎检查轮辋的圆跳动

重要注意事项：务必测量新车轮的圆跳动。切勿假定新车轮没有问题。

在车轮内缘口上测量的轮辋径向圆跳动更加精确。必要时应拆下轮胎，测量轮辋的径向圆跳动与端面圆跳动，如图 4-5 所示。

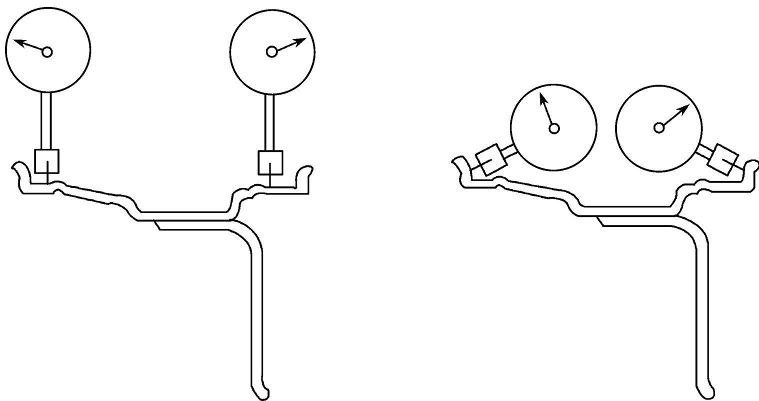


图 4-5　拆下轮胎后检查轮辋的圆跳动

有时通过重新安装轮胎，将轮胎与轮辋合理定位，可以纠正轮胎径向圆跳动过大故障。将轮胎径向圆跳动最明显的区段与轮辋径向圆跳动最小的区段对齐。

如果在车辆上检查时出现端面圆跳动超差而在车辆外测量正常时，需进行轮毂/车轴法兰端面圆跳动检查。如果在车辆上检查时出现径向圆跳动超差而在车辆外测量正常时，需进行车轮螺柱（双头螺柱圆周）径向圆跳动检查，如图 4-6 所示。

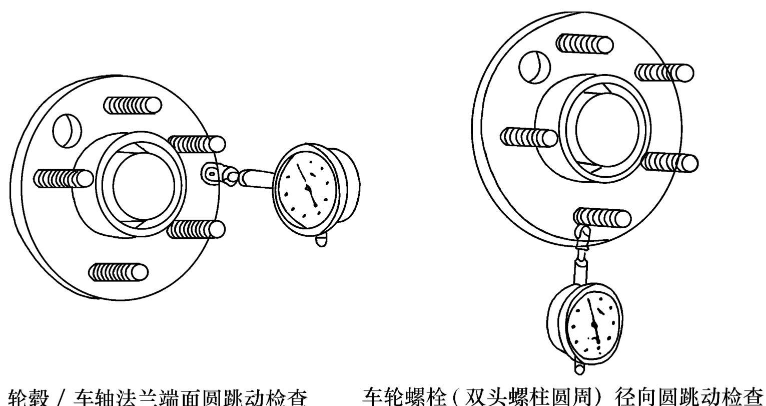


图 4-6　轮毂/车轴与车轮双头螺柱圆跳动检查

轮毂/车轴法兰端面圆跳动检查：将百分表放置在轮毂、车轴法兰或车轮螺柱外转子机件表面。旋转轮毂，找出低位点。在低位点上将百分表调零。再次旋转轮毂并检查总跳动量。端面圆跳动公差允许值：0.1mm。

车轮螺柱（双头螺柱圆周）径向圆跳动检查：放置百分表接触车轮上安装的双头螺柱。尽可能接近法兰测量双头螺柱圆跳动。旋转轮毂，定位各条双头螺柱。在最低螺柱上将百分表调零。再次旋转轮毂并检查总跳动量。径向圆跳动公差允许值：0.254mm（0.010in）。

（6）平衡车轮

1）静平衡与动平衡。静平衡也称为单面平衡，如图 4-7 所示，它影响车轮圆周上的质量分布。动平衡也称双面平衡，它影响轮胎/车轮中心线两侧的质量分布。一般说来，多数车辆对静不平衡的敏感性比动不平衡强。仅 14～21g 就会在某些车辆上引起振动。静不平衡导致的振动会使轮胎产生垂直跳跃运动。

动不平衡会导致轮胎侧向往复运动或摆振，如图 4-8 所示。

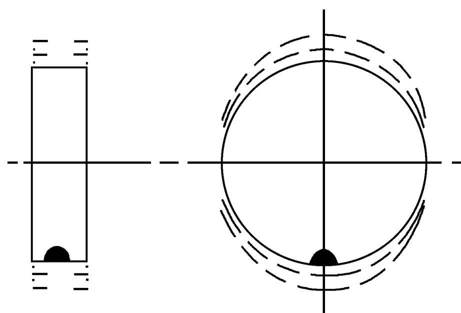


图 4-7　车轮静不平衡

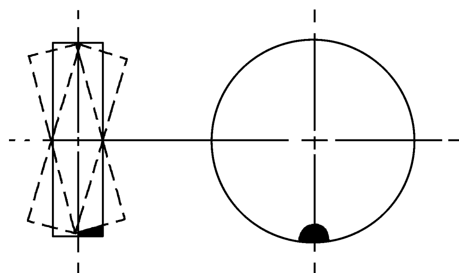


图 4-8　车轮动不平衡

尽管普通车用轮胎的宽度较窄，但是通常仅进行静平衡校正是不能使轮胎平衡的。而对于宽轮胎动平衡调整就变得更为重要，动平衡调整包括静平衡调整，是确保轮胎整体平衡的最好方法。

2）车轮平衡检查。有就车式与离车式，目前大多采用离车式。离车式车轮动平衡机如图 4-9 所示。

在平衡之前应清理车轮内侧的尘土或积物、清除胎面上的石子。

使用车轮动平衡机前，应根据制造厂要求，检查平衡机的校准。

将车轮安装到平衡机上。根据车轮中心孔对车轮和轮毂进行定位。一般来说车轮安装有三种形式：包括正定位、反定位及做大、中型轮胎动平衡时配附加法兰盘，可根据实际情况选择合适的方式。

小型车轮可采用正定位的方式，即按主轴、车轮（轮辋安装面朝内）、放合适锥体（小头朝内）、车轮快速夹具的顺序安装好车轮。

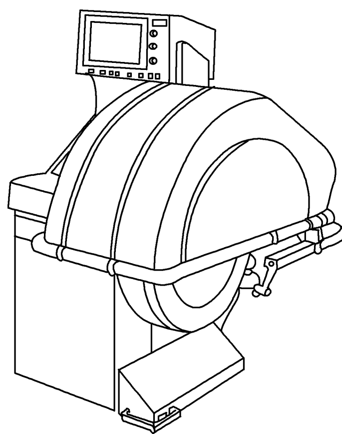


图 4-9 离车式车轮动平衡机

输入轮辋内边至平衡机机身距离、轮辋宽度、轮胎的名义直径三个参数。根据加平衡块位置及方式不同选择不同的平衡方式。一般每次开机自动进入在轮辋两边夹平衡块的动态平衡方式。近来有些型号的车轮调整配重块不能安装在轮辋的边缘部分，而是采用在轮辋两肩上粘附平衡块方法，这时应注意选择不同的平衡方式。

启动车轮动平衡机平衡轮胎，几秒钟后，车轮动平衡机自动制动显示动不平衡量。

慢慢转动车轮，当里侧指示灯全亮，在垂直主轴正上方轮辋里侧打上与内侧显示屏上显示的调整值相对应的铅块；再慢慢转动车轮，使外侧指示灯全亮，在轮辋外侧正上方打上与内侧显示屏上显示的调整值相对应的铅块。然后启动车轮动平衡机，待自动制动后，显示屏显示均为零。一旦平衡已调整到 0g，按照下列程序检查该调整是否合格。将紧固的车轮松开。用手固定平衡机主轴不发生转动，并将车轮翻转，紧固车轮并重新测量平衡状况。如果不平衡度不大于 5g，则该调整合格。如果不平衡度大于 5g，可以进行判断，车轮和平衡机轴的中心定位是否不平衡。如果是这种情况，检查车轮和平衡机轴的中心定位，然后重调平衡。平衡调整结束后，卸下车轮。

3）平衡配重的使用方法。卡住式平衡块主要有三种，如图 4-10 所示。轮辋法兰的轮廓决定了应该采用的车轮配重类型。卡子应牢固卡在轮辋法兰上，配重应贴紧轮辋法兰的轮廓。安装聚酯涂层车轮配重时，使用塑料头手锤，防止聚酯涂层损坏。类型 1 为 MC 类，类型 2 为 AW 类。类型 3 为 P 类型车轮平衡配重，仅供钢质车轮使用，不能用在铝质车轮上。在原厂铝质车轮上，必须使用专用聚酯涂层卡住式平衡配重。聚酯涂层车轮配重可以降低腐蚀或损坏铝质车轮的可能性。

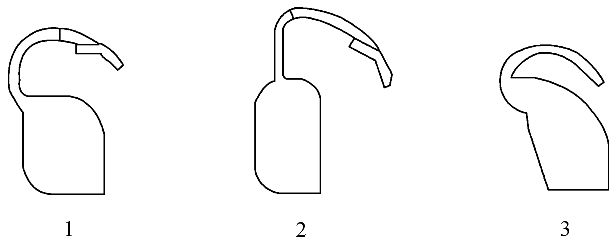


图 4-10 卡住式平衡块的类型

粘接式车轮配重可用于铝质车轮上。按如下程序安装粘接车轮平衡配重。

① 确定车轮配重在车轮上的位置。

② 确保车轮配重与制动器部件之间具有足够的间隙。

③ 用清洁的抹布或纸巾，沾上通用清理剂擦拭该部位。再用一半异丙基乙醇和一半水的混合液擦拭，以消除任何残留物。

④ 用热风干燥该部位，直到车轮表面烫手。

⑤ 预热车轮配重上的背面胶至室温。

⑥ 撕下保护层，露出车轮配重上的胶带。不得触摸胶带。

⑦ 将车轮配重放到车轮上。用手按压，使其就位。

⑧ 用辊轮，施加 90N 的力，将车轮配重固定在车轮上。

卡住式和粘接式平衡配重在车轮轮辋上的使用通常如图 4-11 所示。

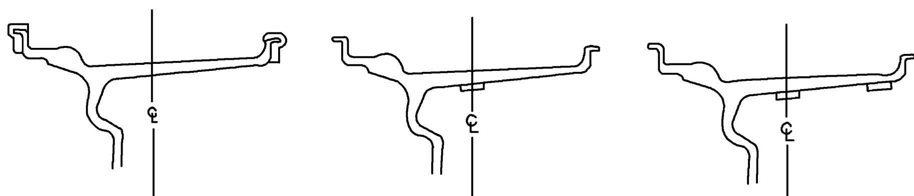


图 4-11　卡住式和粘接式平衡配重在车轮轮辋上的使用

（7）万向传动装置的检查　万向传动装置的检查方法参见上册。

三、故障诊断、排除的相关要点

1. 汽车振动、噪声的产生

（1）振动和声音　我们通过手、脚或身体感知振动（压力波动），通过耳朵感知声音。振动和声音因感知它们的人而不同。即使振动和噪声同时产生，有些人感知两者，有些人则仅感到振动或噪声，其余的人则什么也感觉不到。这是因为振动和噪声与人的敏感性有关。但振动和噪声在本质上相同。噪声是空气的振动（压力波动），并且振动和噪声都用波来描述。由于频率不同，波有时被感知为振动，而在其他情况下则是噪声。振动和声音的被感知取决于频率。20Hz 或 20Hz 以下，表现为振动；20～200Hz 表现为振动和声音；200Hz～20kHz 表现为声音。20Hz～20kHz 的声波为人的可听范围；超过 20kHz 为超声波（人耳听不到的高频声音）。我们根据感觉到的是振动还是声音，可做出对频率的粗略推测。

（2）振动的三要素　振动是物体前后或上下的往复运动。振动由振动源、传递路径、响应件三个要素组成，振动源是产生振动的原因，传递路径是振动通过车辆传递的路径，响应件是能够感受振动的部件。汽车行驶时常见的振动部件如转向盘、座椅垫、车架、仪表板等就是响应件。由于振动可以通过车身结构，传递到其他部件，因此，座椅振动并不表示振动源是在座椅中。

在图 4-12 中，振动源为失衡的轮胎。传递路径为振动通过车辆悬架系统进入转向柱。响应件为顾客报告振动的转向盘。消除三个要素中的任意一个要素，通常都能排除故障。利

用收集到的信息，确定修理哪个要素最合理。给转向柱加一根支杆可以防止转向盘振动，但添加支杆的方法实在不可行。最直接、最有效的维修方法就是正确地平衡轮胎。

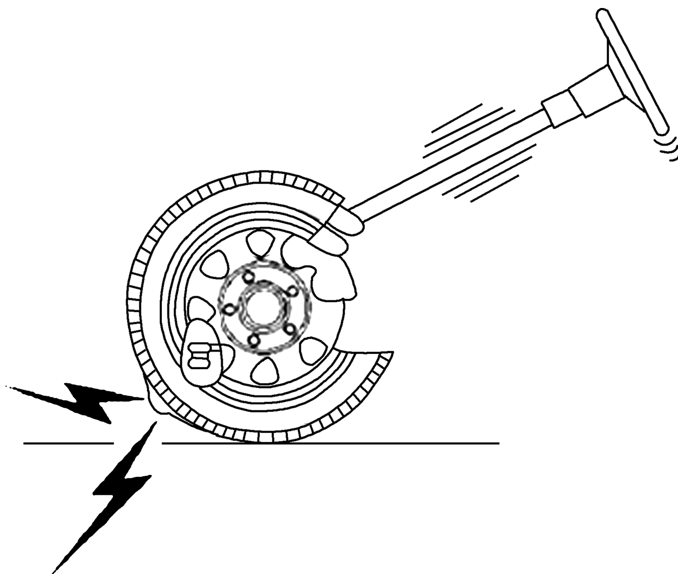


图 4-12 振动的三要素 1

振动还会产生噪声。例如，一辆车的排气管与车架接触。振动源是通过排气管传递的发动机点火脉冲。传递路径是接触或紧箍着的排气管吊杆。响应件是车架。地板振动，相当于一个大扬声器，可产生噪声。最佳维修方法就是定位排气系统，并校正其在车架上的接触状况。这样便可消除传递路径。

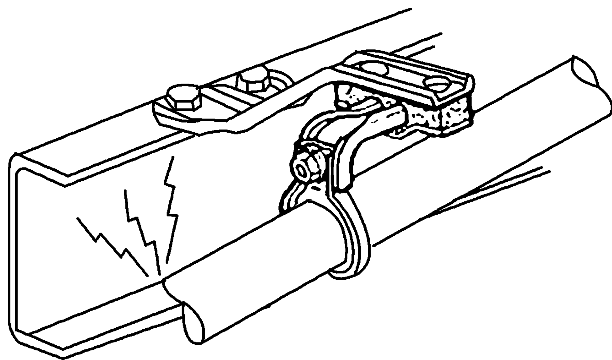


图 4-13 振动的三要素 2

2. 振动的级数

每一转中发生 n 次的振动叫做 n 级振动。或者说，级是指旋转部件每旋转一圈，事件出现的次数。将 n 乘以转数可计算出噪声和振动的频率。

例如，带有一个高点的轮胎，每旋转一圈产生一次扰动，称为一级振动，如图 4-14 所示。

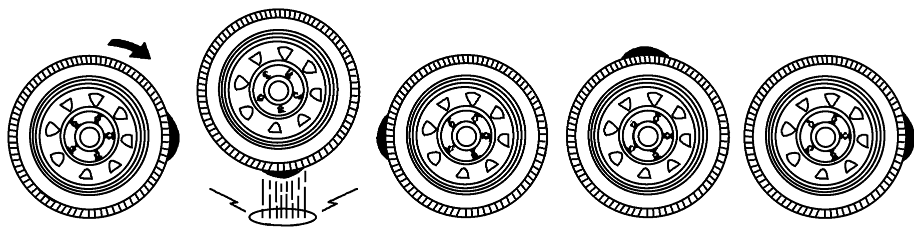


图 4-14　一级振动

一个椭圆形轮胎有两个高点，每转一圈产生两次扰动，称为二级振动，如图 4-15 所示。三个高点为三级，以此类推。两个一级振动的总振幅会相互叠加或抵消。两个一级振动不等于一个二级振动。在离心力的作用下，失衡的部件至少要产生一个一级振动。

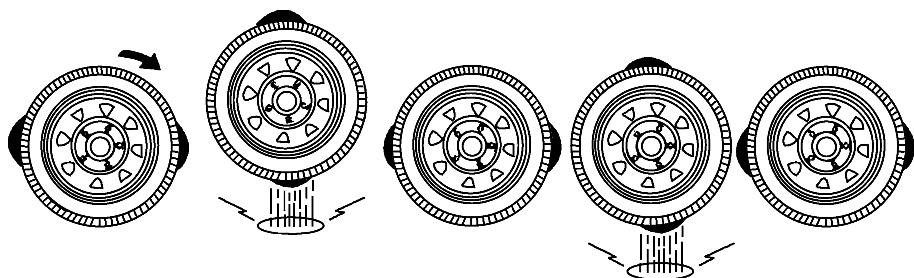


图 4-15　二级振动

在四冲程发动机的每个气缸中，曲轴每转两转燃烧重复一次，引起转矩波动。直列式四缸发动机，曲轴每转两转发生四次燃烧，引起曲轴每转一转两次转矩波动，即每转产生两次振动（二级振动）。直列式六缸发动机，曲轴每转两转发生六次燃烧，引起曲轴每转一转三次转矩波动，每一转产生三次振动，即为三级振动。

在采用十字轴刚性万向节的传动轴中，夹角引起输出轴中的转矩波动，这种波动汽车传动轴每转一圈产生两次，这表现为二级振动。

3. 自由振动与强制振动

自由振动是在没有外力作用下的一种持续振动。即系统受初始干扰后，在没有外界激励作用时所产生的振动。

强迫振动是系统在外界激励作用下产生的振动。

自激振动是系统在输入和输出之间具有反馈特性，并有能源补充时产生的振动。

参数振动是通过周期地或随机地改变系统的特性参数而实现的振动。

4. 车辆中典型的引起振动的力

汽车上常见的振动部件有转向盘、座椅垫、车架、仪表板。即使有一个能振动的物体，如果没有某种外力，振动是不会发生的。

车辆中典型的引起振动的力有：

1）发动机中的转矩波动。

2）轮胎不平衡。

3）轮胎跳动。

4）轮胎不一致性。

5）汽车传动轴不平衡。

6）汽车传动轴二阶振动。

5. 寻找振动源的方法和频率分析实例

（1）寻找振动源的方法　可以根据频率捕捉振动源，即使用测振仪、声级计或者频率分析仪对每个振动和噪声频率进行分析，然后捕捉通过频率的形式显现出来的振动元件和共振系统。振动的测量通常是在顾客反映的发生故障的位置和方向进行，如转向盘振动时应将拾波器装在转向盘上，如图 4-16 所示。对于一个压电型拾波器来说，如果振动方向与压电电极方向不一致，那么测量将不能进行。将拾波器的方向与振动方向调整一致是非常必要的。

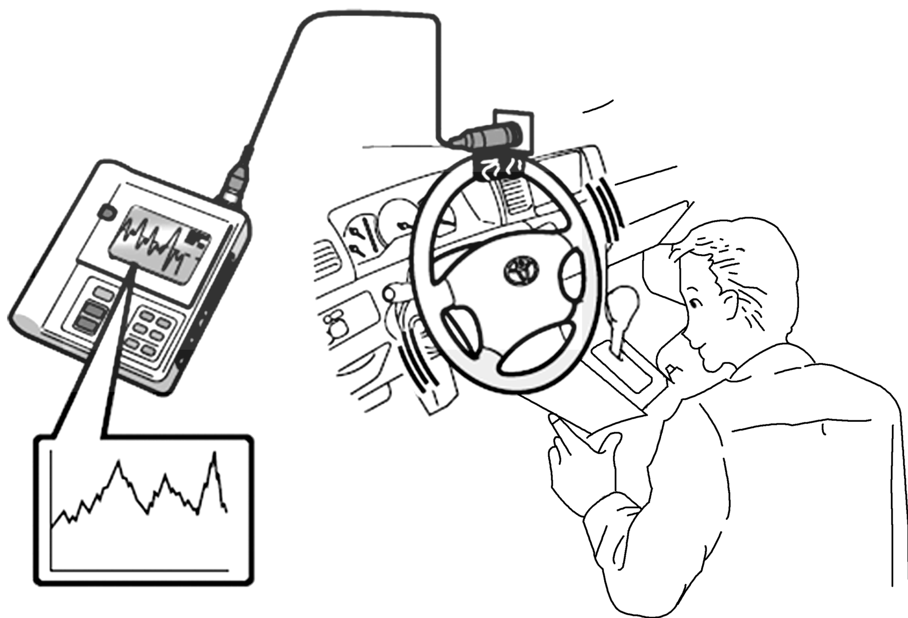


图 4-16　检测转向盘的振动频率

1）检查症状。使用测量工具使任何人都能捕捉到导致顾客抱怨的振动和噪声的原因，因为测量工具可以将这类的感觉转换成数据。

同样，这也使得我们可以在维修后的检查工作中与客观数据进行比较。还可以帮助我们防止重复出现相同问题。

2）频率分析。

① 峰值频率。通常使用频率分析仪来检查峰值频率。峰值频率通常与振动源频率是同一个频率。

② 频率分布。在测量弹性振动源时，检查频率的第 n 级振动。在一些情况下，原因不仅仅是一个峰值，还有可能是第 n 级振动的共振点。

通过计算，找到振动源。根据峰值频率和频率分布进行计算，找到产生共振的部件。

3）捕捉振动源或共振系统。为了根据通过频率分析仪得到的频率来捕捉振动源或共振系统，必须计算相关的每一个部件的频率，这样才能发现与通过频率分析仪得到的频率相匹配的部位。还可以通过测量频率捕捉振动源，从发现的频率当中，可以通过测量传递元件的

频率来捕捉振动源，如图 4-17 所示。

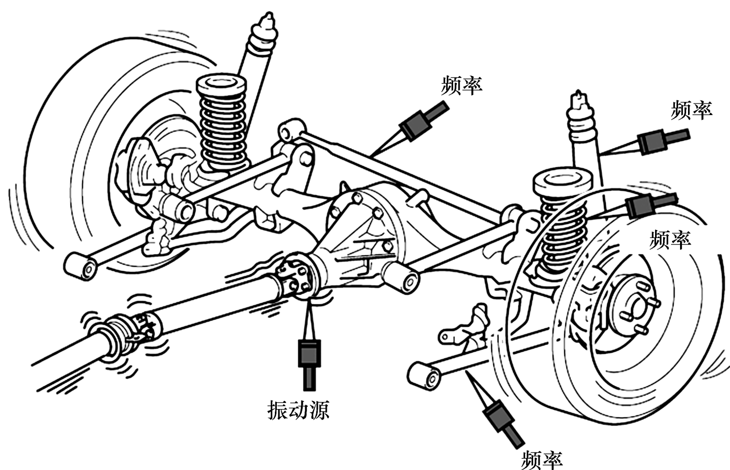


图 4-17　捕捉振动源或共振系统

（2）频率分析的实例　事实上，振动和噪声的频率有一个峰值并且围绕着一个特定值分布。这个最高频率通常与振源的频率吻合，这也就是产生振动和噪声的原因，找到最高频率，就可以有效地找出振源的所在。

频率分析仪可以通过振动仪、声级仪的测量值找到它的频率。

通过频率分析找到振动和噪声的最高频率是为了发现振源，找出振源的频率是非常必要的，通过对它们进行核算，可得到关于发动机转速、车速及挡位的一系列参数。

如通过计算发现的频率与通过测量发现的频率相匹配，产生该频率的物体就是产生振动的振源。具体的分析过程如以下几个实例所示。

1）摆振。

① 症状。当车辆行驶速度达到 100km/h 时，转向盘会产生摆动，在 120km/h 车速时，转向盘摆动最大。

② 测量。用振动仪测量转向盘的振动情况，发现车速在 120km/h 时转向盘摆动最大。

③ 用频率分析仪测定振动频率。用频率分析仪测定转向盘摆动最严重时的振动频率，得到此时的振动频率是 18Hz。

④ 推测。摆振通常是由于轮胎的不平衡造成的。

⑤ 计算。车速为 120km/h 时，车轮的转速为多少呢？车轮半径约 0.3m，车轮的转速＝［120×1000/（2π×0.3×3600）］r/s＝17.7r/s，即车轮不平衡产生一级振动的频率约为 17.7Hz。

⑥ 比较测量值与计算值。因为频率分析（18Hz）和轮胎一级振动频率（17.7Hz）的结果相吻合，因此断定是轮胎产生了振动并引起了转向盘摆振。

2）隆隆噪声。

① 症状。后轮驱动车辆，噪声主要是在以下情况产生的：车速为 90～110km/h；挡位为第 4 挡（直接挡）；发动机转速为 3550～ 3700r/min；当原地空挡高速运转发动机时，噪声不出现，但在车速为 90～110km/h 时噪声就出现。

② 测量。当噪声被声级仪器测出后，在车速为 100km/h，发动机转速为 3600r/min 时测出了噪声峰值。

③ 用频率分析仪测定振动频率。当用频率分析仪进行测量时，认为峰值频率是 60Hz。

④ 推测。发动机不平衡故障或传动轴不平衡。

⑤ 计算。一级发动机失衡产生的振动频率＝3600/60Hz＝60Hz；传动轴不平衡产生的一级振动频率＝发动机转速/（60×变速器传动比）＝3600/（60×1）Hz＝60Hz。

⑥ 比较测量值与计算值。计算出的频率与发动机和传动轴不平衡的频率一致，但在汽车停驶发动机高速运转时噪声没有出现。因此，可以认为传动轴的不平衡性是振动的根本来源。

3）敲击噪声。出现两种振动噪声频率时产生了敲击噪声。

① 症状。六缸发动机后轮驱动车辆，噪声主要是在以下情况产生的：车速为 75～85km/h；挡位为超速挡（传动比约为 0.681）；发动机转速：3000～3600r/min。

② 测量。当噪声被声级仪器测出后，在车速为 80km/h、发动机转速为 3500r/min 时测出了噪声峰值。

③ 用频率分析仪测量。用频率分析仪查对频率峰值时，波形证实在 171Hz 和 174Hz 时出现噪声频率峰值。

④ 计算。传动轴不平衡产生的一级振动频率＝发动机转速/（60×变速器传动比）＝3500/（60×0.681）Hz＝85.7Hz；传动轴转矩波动产生的二级振动频率＝171.4Hz；一级发动机失衡产生的振动频率＝3500/60Hz＝58Hz；六缸发动机转矩波动产生的三级振动频率＝3500/60×3Hz＝174Hz。

根据计算结果，可以推测出在发动机转矩波动和传动轴二级振动之间出现共振而造成敲击噪声。

6. 轮胎和车轮导致的振动分析

对于车速敏感的低频率振动，轮胎和车轮总成振动为需要重点进行的测试。轮胎、车轮、制动盘和车轮轮毂应按照症状有系统地进行测试。

如下为轮胎和车轮产生的一级振动症状。该振动总与车速有关；如果振动受发动机转速的影响，或如果将变速器挂空挡时振动消除，则该振动与轮胎和车轮总成无关；在转向盘或座椅上，感受的振动通常像抖动。

在转向盘上感受到的轮胎和车轮振动，最可能与前轮胎和车轮总成有关；在座椅或地板上感到的轮胎和车轮振动，最可能与后轮胎和车轮总成有关，情况虽然并非总是如此，但这是一条通用规则，用于初步分离故障在车辆前部，还是在车辆后部。顾客会投诉在 8～56km/h 的低速下摆动。电子振动分析仪上的频率将与一级轮胎振动一致。该频率通常在 10～20Hz 的范围内，取决于投诉的速度和轮胎尺寸。

人的耳朵能够听到的范围始于 20Hz。因此，一级轮胎振动极少产生噪声。例外是当轮胎有不规则胎面花纹或平斑时，这会导致轰鸣或拍打噪声。

有两种方法来校正已经经过正确平衡但仍存在振动的轮胎。一种方法利用自动机床进行校正，它装上轮胎并且从两行胎纹的高点上磨掉少量橡胶。采用这种方法校正通常是永久性的，如果工作得当，不显著影响轮胎外观和胎纹寿命。不建议用刀类机器修整轮胎，因为它会显著缩短胎纹寿命，而且通常不能从根本上解决问题。另一种方法是拆卸轮胎，并将它在

轮辋上调转 180°。仅在确认轮胎和车轮总成是导致振动的原因后才采用这种方法，因为这种方法也可能使完好的车轮总成产生振动。

大多数高速振动问题都来自车轮失衡。如果存在以下故障，那么在动平衡之后仍会产生振动：轮胎不圆、轮辋不圆、存在轮胎硬度偏差。

测量轮胎和车轮圆跳动，可确定有故障的零件。必须使用已知的好轮胎及车轮总成替代法对故障车辆进行检查。

在 64km/h 以下出现的低速振动，通常是由圆跳动误差过大造成的。在 64km/h 以上出现的高速振动，通常是由不平衡或圆跳动误差过大造成的。

丰田车使用的轮辋和子午线帘布层轮胎都用彩漆点做标记。盘式车轮轮辋上的白色漆点表示最小径向圆跳动的点，轮胎上的红点表示最大径向力变动（RFV）的点，这两个标记是匹配的（轮胎上的黄点表示最低限度质量的点）。当更换丰田轮胎时，一定要使白色漆点和红色漆点互相对正。如果不对正，尽管全部车轮总成都经过正确平衡，但还会引起高速振动。

7. 一级发动机失衡导致的振动分析

发动机失衡是当按曲轴速度旋转的部件不平衡或过度径向圆跳动时存在的一种情况。在少有的情况下，曲轴可能出现不平衡。平衡这些部件或校正径向圆跳动，能够使扰动达到可以接受的水平。

症状：在 500～1200r/min 的低速下出现的约 8～20Hz 车辆抖动；在较高速度 1200～3000r/min 出现约 20～50Hz 的颤簸和隆隆声；在空挡加速时通常检测到的振动。

1）执行空挡加速测试，记录振动较激烈和最激烈时的转速。

2）检查所有动力系统悬置。必要时，进行维修或更换。

3）检查排气系统是否卡滞或磨损。

4）对自动变速器执行以下步骤。

① 标记变矩器至飞轮位置。

② 从飞轮断开变矩器并从飞轮将变矩器推后。

③ 系紧变矩器，使其与飞轮分离。

④ 再次执行空挡加速测试。观察飞轮。

从一侧目视检查是否有摆动或横向跳动。如有摆动或横向跳动，更换飞轮。

5）如断开变矩器而可排除振动，变矩器应在三个不同位置上重新定位。如进行本程序后干扰仍然存在，更换变矩器。

6）如振动仍然存在，检查曲轴带轮扭转减振器和安装扭转减振器带轮螺栓上的垫圈。必要时，更换强度相同的较长螺栓，在飞轮圆周孔外缘上安装 J 形螺母，必要时更换飞轮。

8. 制动盘/制动鼓失衡导致的振动分析

制动盘和制动鼓没有固定的公差。但制动盘或制动鼓的失衡超标较多时，就有可能产生振动。利用以下方法检查制动盘和制动鼓是否失衡。

（1）在车辆上检查驱动桥制动盘/制动鼓失衡

1）用适当的举升装置支撑车辆驱动桥。

2）拆卸驱动桥轮胎和车轮总成。

3）重新安装车轮螺母，以便固定制动盘/制动鼓。

4）在投诉的车速下模拟行车，同时检查振动。

5）如果仍存在振动，则拆卸一侧制动盘/制动鼓，恢复到投诉的速度下模拟行驶。如振动已排除，则更换制动盘/制动鼓。如振动仍存在，拆卸另一侧制动盘/制动鼓，恢复到投诉的速度下模拟行驶。如振动消失，更换制动盘/制动鼓。更换制动盘/制动鼓时一般应两侧同时更换。

（2）用车轮动平衡机检查制动盘/制动鼓失衡

1）测量制动盘/制动鼓的直径和宽度。

2）按车轮相同方法，在平衡机装配制动盘/制动鼓，如图 4-18 所示。

重要注意事项：仅可检查制动盘/制动鼓静失衡，忽略动平衡的读数。

3）检查是否存在静不平衡。

4）如果制动盘/制动鼓显示出失衡，则更换制动盘/制动鼓。

在将新制动盘/制动鼓安装到车辆上前，检查新制动盘/制动鼓的平衡。

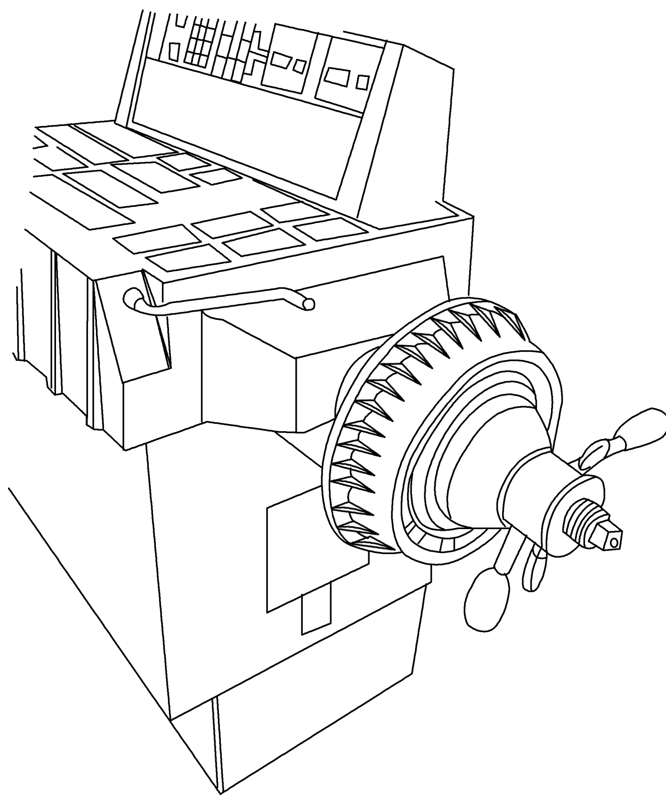


图 4-18 用车轮动平衡机检查制动鼓失衡

9. 前轮摆振（前轮绕主销的角振动）**的机理分析**

转向机构的纵横拉杆都可视为有弹性的元件，轮胎又有侧向变形和侧向力的作用。因此汽车在行驶时，前轮可以绕主销左右摇动、振动。这种振动称为转向轮绕主销的振动，或称为前轮摆动。汽车行驶时，若出现这种摆动，则车轮的轨迹将是波浪形曲线。此时汽车出现所谓的“蛇行”现象。显然在平直路面上行驶的汽车，出现这种偏离直线行驶方向的现象，表明其直线稳定性较差。若汽车经常出现“蛇行”现象，使轮胎经常处于滑磨状况，就加剧

了轮胎的磨损，增大了转向机构的载荷，降低了有关零件的使用寿命，额外增加了轮胎的滚动阻力。此外，汽车的前轮摆振，还会恶化汽车的操纵性，使驾驶员精神紧张，疲劳加剧，从而影响行车安全。在这种情况下，驾驶员将被迫降低车速，以致不能充分发挥汽车的动力，因而影响了汽车使用性能。

“蛇行”现象严重时，还会伴随出现操纵机构、车架和车身的振动，使平顺性和操纵稳定性变坏，因此前轮摆振是操纵机构振动中的主要问题，受到国内外汽车界的重视。在汽车工程中，常将前桥相对于车身的横向振动、前桥绕汽车纵轴的振动和前轮绕主销的摆动等三种振动统称为汽车的摆振。其中转向轮绕主销的振动即前轮摆振较为复杂，对汽车性能影响最大，在汽车行驶中极易出现。

目前由于汽车平顺性的要求，常采用弹性较大的悬架和轮胎，加之前轮装上制动器后，使前桥绕汽车纵轴的转动惯量和前轮绕主销的转动惯量增大，因而以上两种固有频率都有所降低。在这种情况下，提高行驶速度就增加了前桥和转向轮发生共振的可能性。

上述两种振动系统中，在外界激振力的扰动下，可能激发起有阻尼的自由振动、强迫振动以及自激振动。

如果外界激振力是偶然的和单次性的，例如汽车直线行驶时，汽车受单凸起障碍物或突然的侧向阵风的扰动，车轮便发生初始的瞬时偏转。由于系统存在弹性及阻尼，故系统被激发起有阻尼的自由振动。当外激力消除之后，振动将衰减。这时，如果回正力矩足够大，车轮克服初始偏转而返回中间位置，汽车呈现稳定状态；如果回转力矩不足以消除车轮的初始偏转，车轮将处于某一平衡位置，则汽车将偏离直线行驶方向。此时，为了恢复直线行驶，驾驶员就必须转动转向盘。

如果外界激振力出现某种规律的周期变化，例如汽车行驶在近似于正弦波的搓板路面，或者车轮在失衡所形成的离心力矩作用下，那么，前桥系统将被激发起有阻尼的受迫振动。显然，如果外激力的变化频率与系统的固有频率吻合成接近时，前轮将发生强烈的共振现象，汽车就会出现不稳定状态。

如果汽车在偶然的单次外激力的扰动下引起车轮的振动，但在外激力消除后，这种振动并不衰减，相反却因为这种振动的出现而激起系统内部的某种交变力的发生。这种交变力不但使初始振动继续维持，而且还使振动越来越加剧，这种现象在振动理论中称为自激振动。

（1）车轮不平衡的影响　车轮回转时，由于动不平衡将产生沿车轮半径方向的离心惯性力，如图 4-19a 所示。

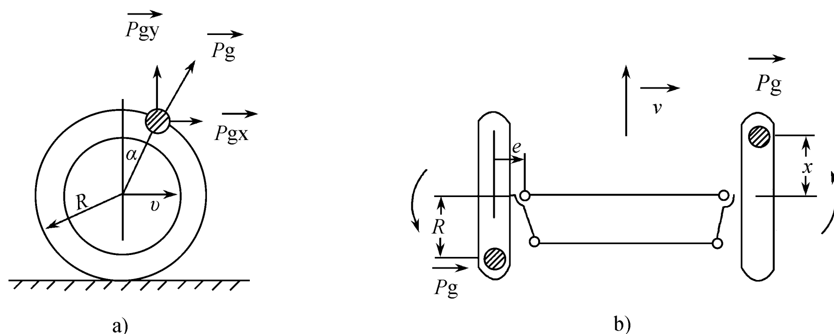


图 4-19　动不平衡产生的离心惯性力

它的水平分力对主销中心的力矩将使车轮绕主销回转。它是周期性变化的，其频率取决于车速。当离心惯性力的频率与转向轮绕主销振动的固有频率相近时，就会发生强烈的摆振。

离心惯性力的垂直分力会引起车桥绕汽车纵轴转动和使车轮上下跳动。如果左、右两车轮的不平衡质量处于图 4-19b 所示的斜对称位置时，会使车桥的振动更为严重。为了避免这种现象，无论装配新车或给旧车换胎时，都应对每个车轮进行动平衡，使其不平衡度在容许的数值之内，对高速轿车的车轮平衡要求更高。

（2）车轮陀螺效应的影响　在汽车行驶时，可把高速旋转着的车轮看成一个转子，而将绕主销转动的转向节视为该转子的框架，从而构成一个二自由度的陀螺。力学上的陀螺就是除能绕其自转轴高速转动外，还能绕其他轴转动的刚体。根据力学中的陀螺仪近似理论可知，当转子以自转角速度 ω_k 高速旋转时，如果框架也以某角速度$\frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t}$转动，则框架将受到一个力矩作用，此力矩称为陀螺力矩，其数值为 $M_r = J_k\omega_k\frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t}$，其方向可由左手法则决定，如图 4-20 所示。式中 J_k 为转子绕自转轴转动的转动惯量。

在行驶中汽车的前轮越过凸起的障碍时，车轮平面将发生$\frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t}$的偏转角速度，如图 4-21 所示。此时高速旋转车轮的动量矩 $J_k\frac{v}{R}$的方向要发生变化。由于陀螺效应，将有一个陀螺力矩 M_r 作用在转向轮上，使转向轮绕主销转动，此陀螺力矩的大小为 $M_r = J_k\frac{v}{R}\frac{\mathrm{d}\varphi}{\mathrm{d}t}$。

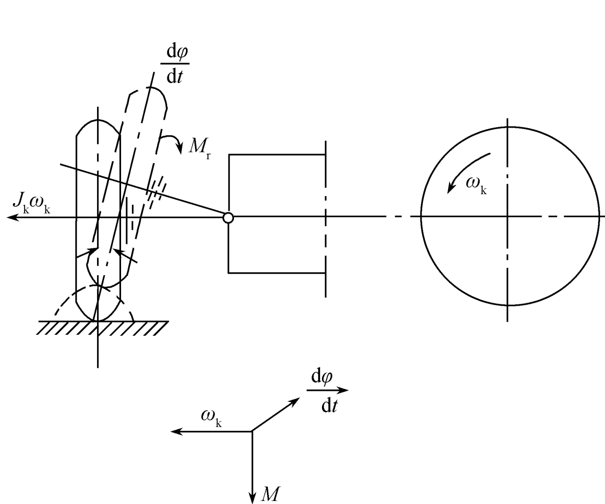


图 4-20　陀螺力矩

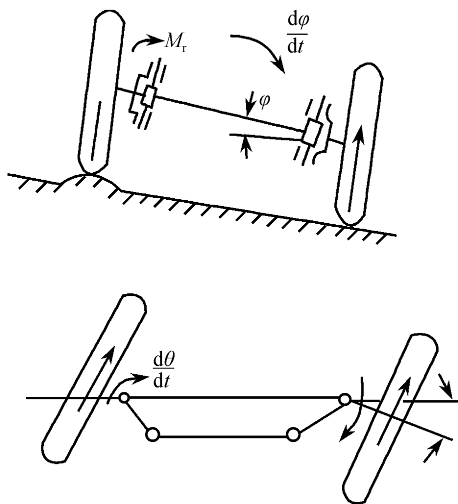


图 4-21　汽车越障行驶前轮产生的陀螺力矩使转向轮绕主销转动

如果左轮升高，M_r 将使车轮向右偏转；如果车轮下降，M_r 将使车轮向左偏转。上述公式表明，由于陀螺效应引起的车轮绕主销的振动将随着车速的提高、车轮转动惯量增大和车桥摆动角速度的增大而增强。同理，车轮绕主销的振动也会产生陀螺效应，反过来影响车桥的振动。

为了避免陀螺效应引起的转向轮摆动，要求悬架装置能保证在车轮上下跳动时，其自旋平面不发生偏转。理论上采用等长双横臂式独立悬架，即可满足上述要求。当车轮上下跳动时，该车轮平面平行移动而不偏转，故不产生回转力矩。但是这种结构也有严重的缺点，就是车轮上下跳动时轮距改变较大，从而增加了车轮的侧向滑移和轮胎的磨损。目前汽车上采用不等长双横杆独立悬架，其上臂略短于下臂，使车轮在上下跳动时，车轮下面角度改变较小。

引起前轮摆振的因素较多，除前述车轮不平衡及陀螺效应外，波形路面以及悬架与转向机构运动不协调等，都可引起前轮摆动。

从能量守恒定律可知，产生自激振动的系统必定有外部能源存在，依据系统本身的运动把外部能源转换成激振力的能量。也就是说自激振动的系统是一个反馈系统。

综上所述，汽车转向轮的摆振有强迫振动和自激振动两种类型。它们之间有明显的区别，但又存在密切的内在联系。

强迫振动型的前轮摆振，是由周期性的干扰源引起的，此时摆振周期与干扰周期一致，在共振频率处出现波峰。对于车轮摆振来说，周期性的干扰源主要来自车轮的失衡、端面摆差、径向摆差以及轮胎特性沿周长的不均匀性等。一般说来，车轮每转一周为一个周期。因此，车轮每转一圈绕主销摆动一次。当车轮在共振车速行驶时，必然发生明显摆振；大于或小于共振车速时，摆振就不明显了。共振车速范围一般很窄（3～5km/h）。

自激振动型的前轮摆振与强迫振动型完全不同，它具有以下几个特点：

1）自激振动的发生并不需要周期性的干扰源。当汽车在良好的路面上行驶时，只要车轮受到一个偶然的冲击，就会产生一个初始偏转，在冲击消失后，车轮摆动并不停止，而是变成稳定持续的摆振。要消除此摆振除非采取制动或减速等措施，否则摆振不会停止。

2）发生摆振的车速范围较宽。但摆振并不像强迫振动那样在不稳定车速范围内必然发生。只有在行驶中受到足够大的初始冲击时，才发生摆振。

3）车轮绕主销做自激振动时，振动的频率与车轮转速（相当于激振频率）并不一致。在不稳定车速范围内，其振动频率变化不大，此频率接近于车轮转向系统绕主销振动的固有频率。

汽车前轮转向系统的强迫振动与自激振动虽然具有本质的差别，但它们仍有一定的联系和相似之处。如产生两种振动的能量都是通过地面与弹性轮胎的相互作用，而将能量直接或间接地输入到前轮转向系统的。当摆振为强迫振动时，能量通过周期的干扰力做功输入到前轮转向系统中。其振动的强烈程度，除与干扰力大小有关外，还取决于系统的阻尼。在一般的转向系统中，阻尼可由于摩擦阻力以及专门设置的阻尼器的线性阻尼所组成。

10. 振动和噪声的维修方法

1）减小激振力。处理振动和噪声的最好方法是消除振动源。基本的维修工作是减小激振力。然而，有些激振力是很难减小的，除非是特种车辆。例如，当汽车行驶时，发动机内转矩的变化会产生振动。要彻底消除轮胎的不平衡性也是不可能的。取而代之的最有效的方法就是使不平衡性减小到某一程度，以至不再产生振动和噪声。

在某一些情况下，这种方法可以与下述几种方法结合使用。

2）防止共振。此时，需要降低共振程度或使共振点移到稳定速度范围的外面。按照这种方法可以改变共振点。例如安装一个阻尼减振器。当然，还有一些其他情形，使共振点发生变化和由于零件紧固不足产生振动。

3）减小振动的传递。通过用隔振橡胶可防止车辆振动的传递。

典型的解决办法就是加固发动机悬置和悬架衬垫。

在维修工作中，还要对悬置件的连接和橡胶老化情况进行检查。

4）防止振动部件的振动。这个方法是通过把隔振材料粘接在一起，如将沥青纸毡粘接在地板上达到防止振动的目的。

11. 风噪声分析

风噪声是汽车在高速行驶时车身周围气流和车身台阶及凸出物引起空气紊流而产生的，如图 4-22 所示。空气紊流产生的气流噪声通过车门、密封条、车身板、门窗玻璃等传到乘员耳朵里。风噪声随车速和风向而变化（车速越快，风噪声越大）。顺风高速行驶时，风噪声较小。紊流由车身上的台阶和/或凸出部分或缝隙产生的。

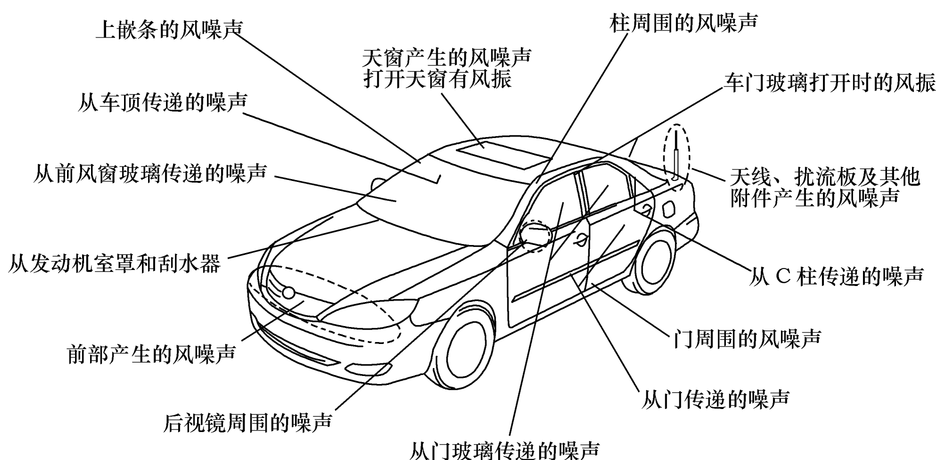


图 4-22　车身风引起的风噪声

（1）风噪声的类型　风噪声可分为：紊流噪声、漏气噪声、簧片噪声、哨声噪声和风颤噪声等，如图 4-23 所示。

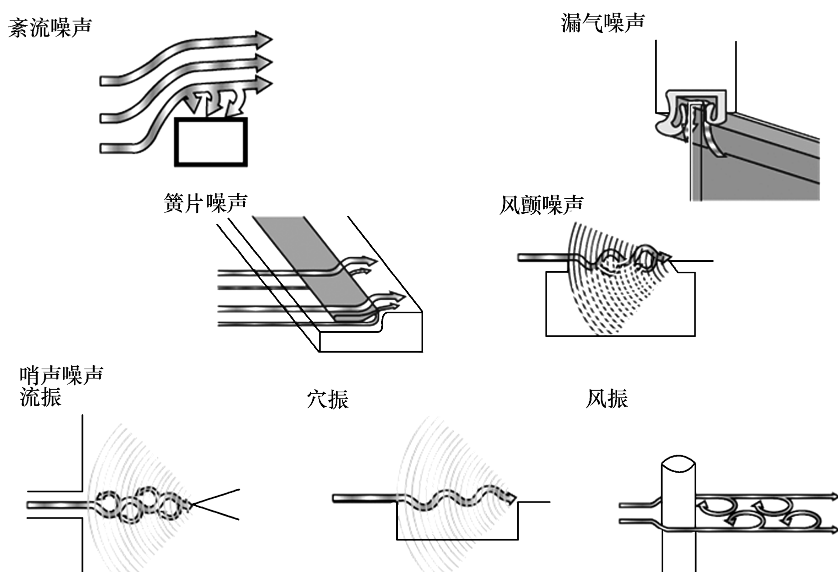


图 4-23　风噪声的类型

1）紊流噪声。台阶使气流加速并产生紊流，引起空气振动。此时，如果自然风变化，将产生紊流噪声。

① 空气与截面的端部相撞产生涡流，对车身产生压力即形成风噪声。

② 涡流在截面对车身产生压力形成风噪声。

③ 平稳流动的气流可产生轻微的风噪声。

2）漏气噪声。车身气密性不好产生漏气噪声。

漏气噪声产生的原因：外部噪声通过密封不良的部位或缝隙进入车内部；车内空气被吸到车外，如图 4-24 所示。

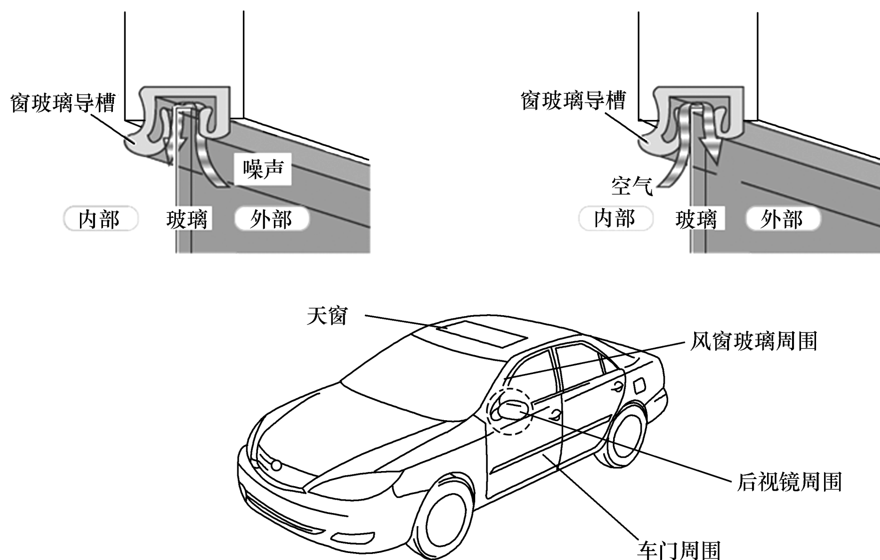


图 4-24　漏气噪声

3）簧片噪声。空气通过窄缝并产生振动，在边缘的上下部分之间有压力差，又引发边缘振动而产生簧片噪声。

4）哨声噪声。空气通过狭缝引起加速形成哨声噪声。

5）风颤噪声。开天窗行驶时，由分离的气流产生紊流，该紊流又与进入车内的气流产生共振，形成风颤噪声。

6）传递的噪声。车身表面凸出物把沿车身表面流动的气流分离而产生紊流，这种紊流通过车身板等进入车内部，这时乘员听到的是风噪声。

（2）风噪声的故障排除

用户投诉的症状确认。排除噪声工作中最重要的一点是鉴别出该问题是否确实是零件功能不正常引起的，还是只是客户不满意引起的。

为了做到这一点，必须分析用户投诉，必须准确掌握车辆性能和正常使用时出现的情况，对车辆条件状况必须给出正确判定。

① 问诊。检修的第一步是明确用户投诉的内容，就投诉内容与用户交流是非常重要的。

以下七项是问诊时要关注的关键点：

a. 声音的类型。弄清楚声音的类型是紊流噪声、簧片噪声、哨音噪声、漏气噪声（嘘

声）、传递噪声、风颤噪声中的哪一种。

b. 噪声源。弄清楚噪声源的大致位置，是在 A 柱、前门、后视镜、后门、天窗、B 柱、C 柱等位置中的哪个位置。

c. 产生风噪声的车速范围和最大噪声车速。

d. 辅助设备的工作状态。弄清楚噪声发生时，辅助设备所处的工作状态，如加热器操纵杆位置、车门窗玻璃位置、天窗位置、刮水器位置等。

e. 附件装备情况。行李架、侧遮阳板、扰流板等，是否在这些附件安装之后产生噪声？

f. 时间、天气、温度和风力。弄清楚噪声发生时，外界的环境因素如何？如天气：晴、多云、雨；时间：早晨、白天、夜间；温度：高、中、低；风力：强风、中风、弱风、顺风、逆风、侧风等。

g. 第一次出现问题时。第一次出现此类问题的时间是在何时？如新车安装附件之后（安装之后多少个月）或者跑了多少公里之后。

② 确定噪声区域。通过检查前面描述的各种现象，证实顾客的投诉后，在下一步中查找噪声源。查找噪声源时，首先要确定噪声区域，然后将之隔离。

a. 用听觉检查噪声类型和方向。通过路试来确定噪声源的位置，用听力检查噪声类型和方向。

b. 目视检查噪声是来自车身表面的台阶、缝隙或是其他轮廓。目视检查车身表面上的台阶、缝隙或其他轮廓确定噪声源区域。

紊流噪声：是否有紊流噪声用视觉检测较难。可根据听觉确定噪声的类型和方向，再用视觉估测定位。检测哪个部件扰乱平滑的气流。

簧片噪声：检查橡胶部件的边缘或端部是否存在可抖动的现象，如风窗玻璃上嵌条边缘的抖动，如图 4-25 所示。此时需检测边缘安装情况，将边缘按气流进入方向布置可减弱噪声。

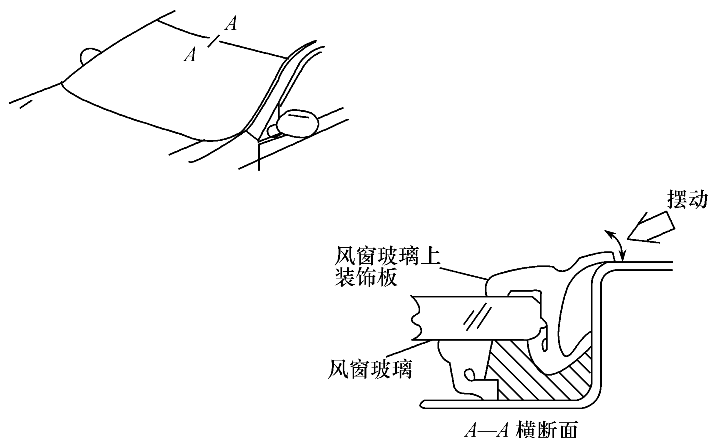


图 4-25 风窗玻璃上嵌条边缘抖动形成簧片噪声

哨声噪声：检查是否有锥形端面？孔或缝隙中是否有台阶？孔或缝隙中是否有毛刺？零部件之间是否有缝隙？如图 4-26 所示，前格栅产生哨声噪声的大小取决于零部件之间缝隙大小，对左右缝隙进行比较或与其他轿车缝隙进行比较。

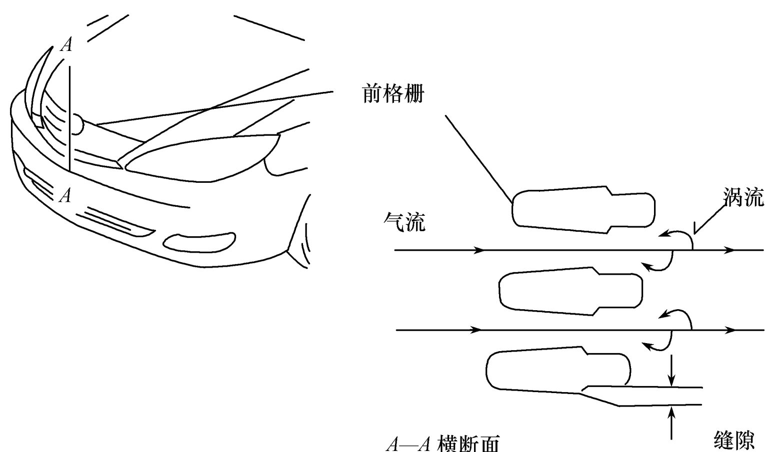


图 4-26　前格栅产生哨声噪声

漏气噪声：若怀疑车门、车窗玻璃、天窗处产生漏气时，可如图 4-27 所示，检查车门、车窗玻璃、天窗等是否紧闭；用指尖推或拉密封条的表面检查连接状态；密封条过度挠曲会降低密封性。在车门与门柱之间插入一张纸。如果抽取容易，则密封性能不好。检测车门、车窗玻璃、天窗等是否正确定位。车门及车身密封件是否牢固定位？检查玻璃是否活动和密封条性能是否下降。

经过彻底的外观检查后，如果未发现空气或风窗噪声源，则按下述的方法和程序进行进一步的检查。

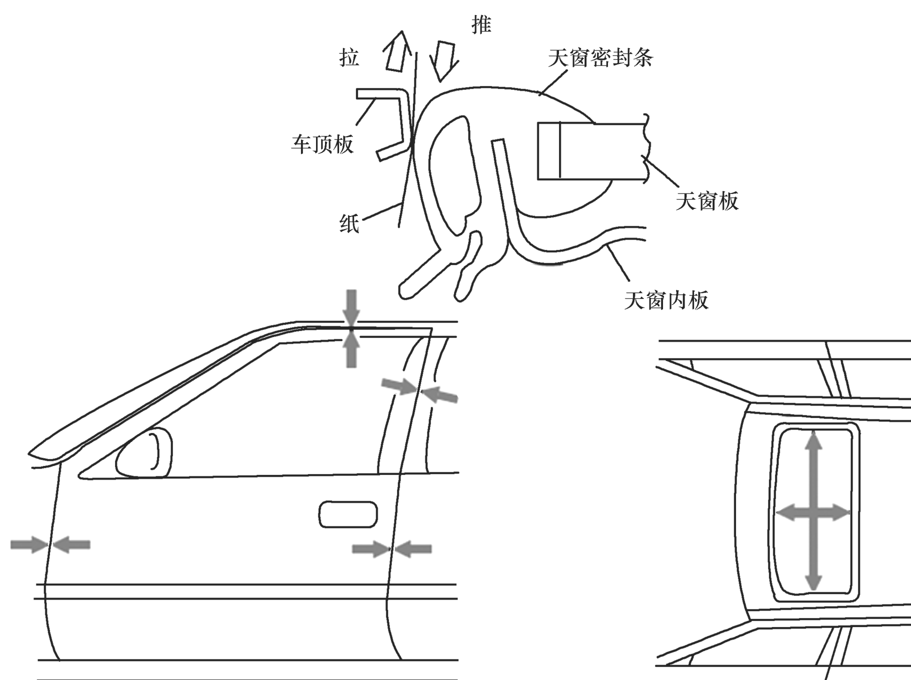


图 4-27　用推、拉或塞纸片的方法检查车门、车窗玻璃、天窗处是否产生漏气噪声

③ 推拉零部件检查噪声的差异。如图 4-28 所示，推拉零部件检查噪声差异的方法主要用在簧片噪声和漏气噪声的检查，不能用于其他方面的检查。因为这种方法只适用于内部件，用听觉和视觉检查这些部件之后总是要采用这种检查方法。

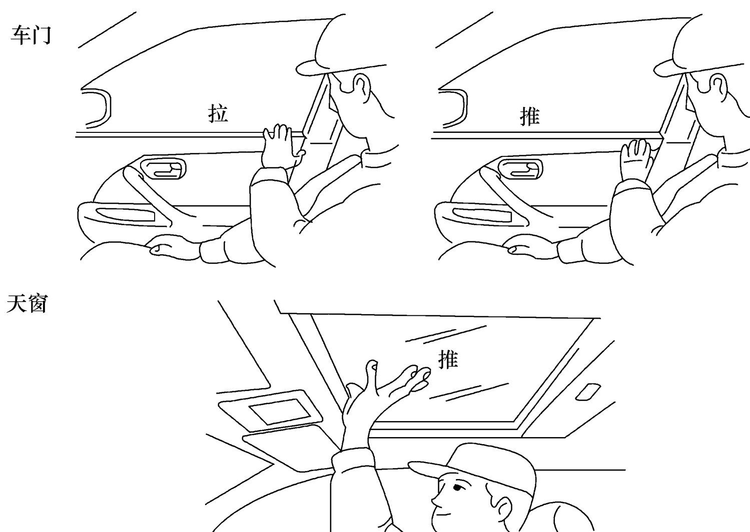


图 4-28 在车内推拉零部件检查噪声差异

④ 改变部件使用状态或安装位置。当怀疑噪声与使用功能件有关时，可操纵功能件改变其使用状态，来检查它们使用前后的噪声差异，如图 4-29 所示，操纵后视镜、电动天线等功能部件，使其状况发生变化时，如折叠后视镜、拉出天线检查噪声有什么变化。怀疑噪声与部件的安装位置有关时，还可通过调整其安装位置来比较噪声的差异，如调整发动机室罩减振垫高度改变发动机室罩和前照灯之间的间隙，驾驶时检查噪声的差异。

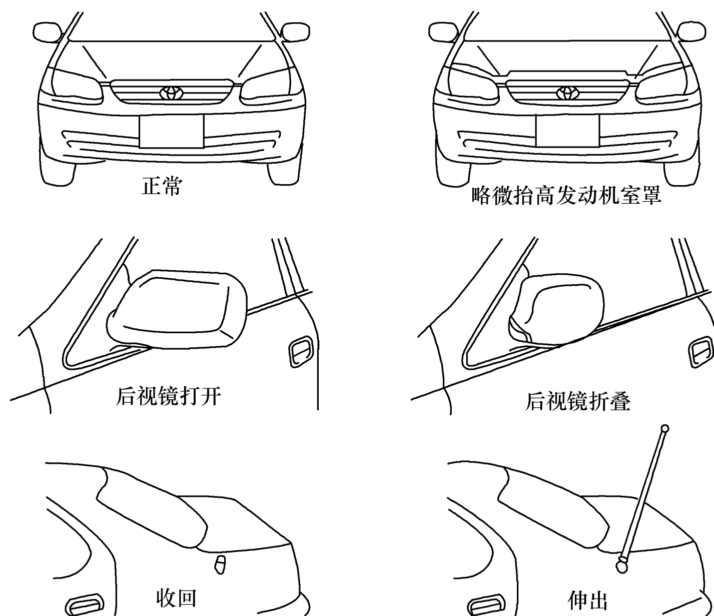


图 4-29 改变部件使用状态或安装位置来检查风噪声

⑤ 用粉笔（示踪粉末）测试法诊断风窗漏气噪声。诊断漏水的很多程序，同样也可用于诊断风窗噪声。风窗噪声的修理也与漏水修理十分相似。采用实际修理程序取决于需要维修的间隙类型。调整车门或车门窗就有可能解决问题。如果发现风窗噪声异常时，在继续诊断前，首先从外观上检查是否存在部件错位、紧固件松动、密封条撕裂、断焊等现象。诊断空气和风窗噪声的四种常用方法为：粉笔（示踪粉末）测试、空气压力测试、空气软管（肥皂泡）测试、粘胶带路试法。

示踪粉末或粉笔测试：

a. 用清洗溶剂清理密封条和接触面。

b. 沿可疑部位周边，在密封条接触面上用粉末或粉笔画一条连续线。

c. 完全关闭镶板，可使密封条牢固压在结合面上。

d. 检查密封条上的画线。在接触良好的部位上，画线损坏。在结合面上留下相应的印迹。

e. 结合面上粉末或粉笔中的间断或不规则，指示该部位密封不良。

⑥ 用空气压力测试法诊断风窗漏气噪声。

a. 关闭所有车窗等。

b. 车辆通风风扇拨到接通位置，将选择开关置于高速和除霜模式。

c. 开锁并关闭车门。

d. 用听诊器或一段软管听空气从车门和车窗密封条溢出时发出的声音。

⑦ 用肥皂泡沫或气泡测试法诊断风窗漏气噪声。

a. 关闭所有车窗等。

b. 将车辆通风风扇拨到接通位置，将选择开关置于高速和除霜模式。

c. 开锁并关闭车门。

d. 将所有可能泄漏的部位涂上肥皂水。

e. 查看是否出现指示空气外溢的气泡。

⑧ 用粘胶带路试法诊断风窗漏气噪声。这种方法的目的是找出噪声源，逐个地把可能的噪声源排除。

这种方法可以用于多数风噪声检测，但风颤噪声检测除外。

当用粘胶带时，一定注意防止粘胶带末端产生不同的噪声。可以依据噪声和噪声源类型事先制定的噪声源检查程序。如图 4-30 所示，用一块 50mm 宽的胶纸带每次封住一个车身接缝和开口，在交通流量和噪声小的地区进行路试，直到噪声消失。如果用粘胶带方法能把噪声止住，则说明此处即为噪声源。确定外部风窗噪声的位置。继续行车并用胶带暂时修理。必要时，调整胶带，继续测试，以确定噪声是否消除或存在其他泄漏部位。当所有泄漏位置确定后，用定位方法和密封材料进行永久性修理。

12. 风噪声修理

当排除风噪声问题时，在出现风噪声部位和出现噪声的条件采取适当的排除噪声措施。注意修理方法应是长期有效的，不能影响零部件的正常功能，且修理位置应有一个良好的外观。

1）使用海绵填料。使用海绵填料来提高密封件边缘张紧性和气密性。主要用于零件间的缝隙中，在一定范围上提高表面压力，如图 4-31 所示。

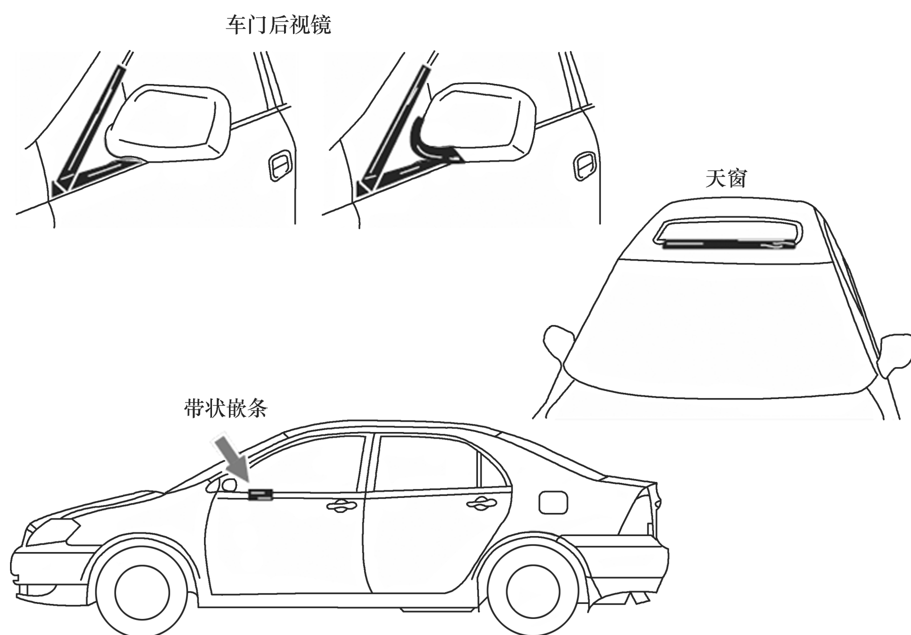


图 4-30　用粘胶带路试法诊断风窗漏气噪声

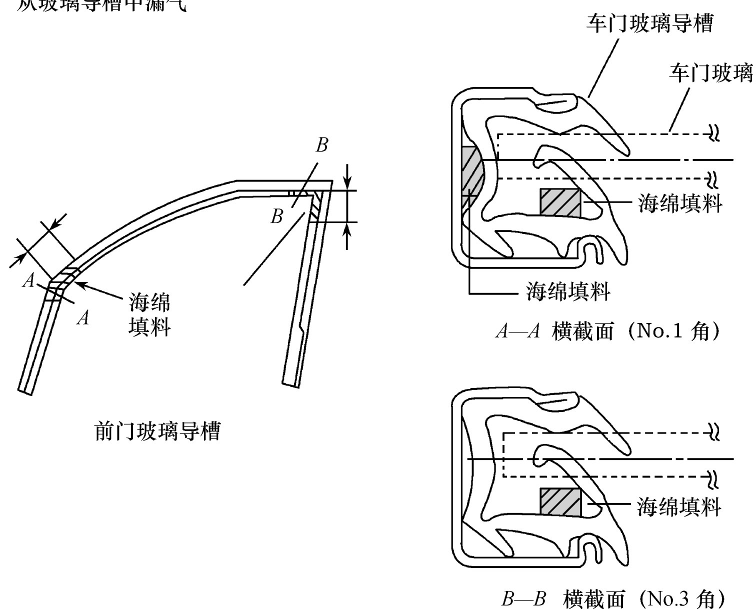


图 4-31　使用海绵填料减少风噪声

2）用丁基胶带。如图 4-32 所示，用丁基胶带防止空气进入前照灯盖密封处就是应用之一。这种方法主要用于除前、后风窗玻璃外的一些密封部位。

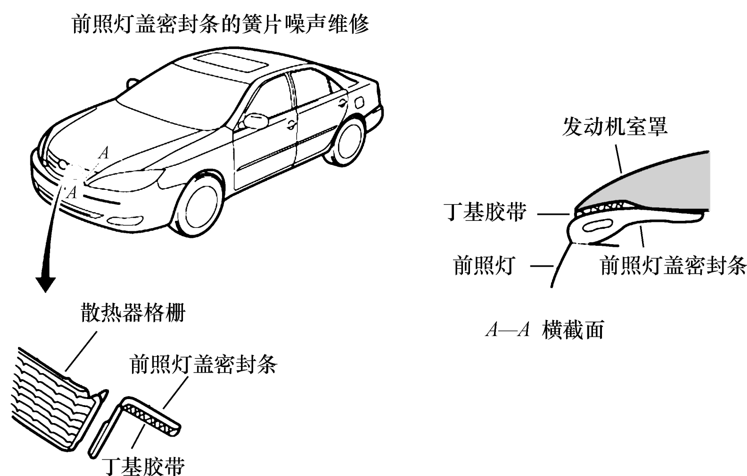


图 4-32　用丁基胶带维修前照灯盖密封条处产生的簧片噪声

3）用风窗玻璃粘胶带。

如图 4-33 所示，可用风窗玻璃粘胶带填充风窗玻璃外嵌条的阴影区域，防止空气进入前立柱，可使风窗玻璃嵌条边缘不再振动。

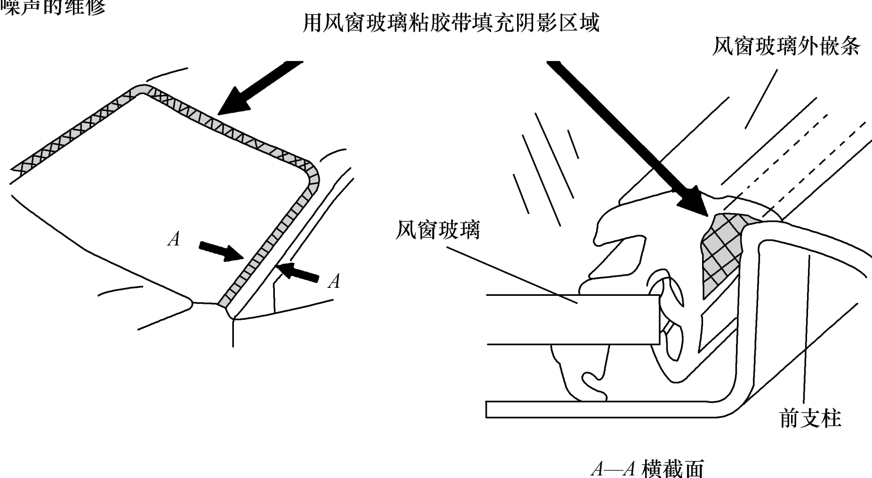


图 4-33　用风窗玻璃粘胶带使风窗玻璃嵌条边缘不再产生簧片振动

4）装配调整。当诊断出风噪与车门安装位置有关时，应根据维修手册对车门进行装配调整。必要时对车身各总成进行校正或更换零件。

维修完成后，应检查噪声是否已消除，确认维修后没产生其他噪声且附件功能正常。

四、故障实例

1. 奇怪的车身振动

1）故障现象。一辆 2003 款宝马 530i 轿车，E39 底盘，行驶 80000km。当加速到 100～110km/h 时，车内后座区有明显振动的感觉。

2）故障诊断。此故障在3个月内已经去过多家修理厂维修，并且更换过变速器油，试换过半轴、差速器、轮毂、变速器总成等，均没有效果。为了确认车主描述的故障现象，同车主一同试车，在试车途中不但验证了故障的真实性，还掌握了一条规律，只有加速到100～110km/h时才会出现上述故障，无论是减速到该车速或者高于、低于该车速，均正常。该车配备了ZF5HP-19手自动一体变速器，当用自动模式D位行驶到该车速时会出现上述故障，而用手动模式4挡行驶到该车速却正常。这间接地说明一个问题，振动肯定是与变速器超速挡的执行元件工作有关。但鉴于更换过变速器总成，剩下来的与超速挡有关的最有可能的是执行元件和变矩器锁止离合器了。通过分析该变速器锁止离合器的工作条件，可以得出锁止离合器不只是在超速挡时工作，但一时又无法证明锁止离合器工作正常或者用其他方法排除锁止离合器的异常，只是怀疑锁止离合器在完全锁死时，由于表面的磨损，可能会产生振动，从而使车身发生共振。为了测试的准确性，更换新的变矩器，当装车试验时故障依旧。这时感觉有些迷茫。是没有找到故障的真正原因，还是这新变矩器工作不可靠（这种可能性很小）。

无论是通过诊断仪，还是通过现象分析，都完全可以说明是在超速挡执行元件工作时，才会出现上述的振动现象，也就是说，在直接4挡向超速挡5挡换挡的瞬间，即在这个换挡点上才会出现振动。在分析直接挡4挡与超速挡5挡达到该车速时，从表面上看，4挡达到该车速时发动机转速要比5挡达到该车速时高出600～1000r/min左右。从变速器内部看，就是换挡执行元件不同。再仔细分析，相同的车速，为什么在发动机转速不同时也会出现不同结果呢。发动机转速能说明什么问题，发动机转速高，转矩就大。难道这种换挡不平顺与动力有关吗？接下来改变思路，考虑发动机的动力。影响发动机动力的因素有哪些呢？油路方面主要有燃油喷射压力，电路方面主要有点火能量，气路方面主要有进、排气阻力等。

连上燃油压力表，观察出现故障时的油压，并没有变化。根据经验分析，点火可能性也不大，因为它不可能把故障集中表现在车速的某一点上。接下来去掉空气滤清器试车，故障还是依旧。剩下来唯一可疑的就是排气压力了。因为该车三元催化器后不带氧传感器，只能把排气压力表接到三元催化器前的氧传感器上，通过怠速、原地急加速都表明气缸列1（1、2、3缸）排气压力明显大于气缸列2（4、5、6缸）排气压力，问题终于被发现。

3）故障排除。更换三元催化器，故障排除。

2. 富康高速行驶发抖

一辆富康ZX型轿车已行驶15万km，在行驶中车速达到100km/h以上时，车头发生跳跃式振抖。开始检修时认为前轮悬架有故障，先后调整前束和轮胎气压，进行车轮动平衡，更换轮胎轮辋，但故障依旧。

后来根据车辆行驶时振抖的特点和规律进一步分析，前轮只是跳动而非摆动，并且呈跳跃式，且只在高速时产生，这与传动装置和发动机支座有关。因为ZX轿车发动机的安装形式，前端是通过带串心螺栓的橡胶垫支承在车架加强凹槽中，后端由螺栓悬吊在蓄电池底板下。如果前端的串心螺栓与橡胶垫之间开裂，就会破坏弹性连接，传动轴在高速传动时产生振动，必然会牵连发动机一起抖动，从而造成车头跳跃式振抖。

用撬棒撬动发动机前支座时，发动机果然被撬起，说明橡胶垫已经断裂。

更换橡胶垫支座后，故障现象彻底消除。

3. 奥迪轿车行驶时前轮有“哄哄”异响

1）车型。奥迪。

2）故障症状。车辆行驶时，前轮有“哄哄”异响，特别是车速在 30～50km/h 时，异响更加明显。

3）行驶里程：31000km。

4）诊断与排除。经检查发现异响随着车轮的转动有规律地发出，车轮每转 1 周响 1 次，同时感觉脚下有轻微振动。初步判断是前轮轴承不良，更换左前轮轴承，但试车故障依旧。更换右前轮轴承，故障仍不能排除。后来又更换了两根传动轴，故障还是不能排除。拆下正常车辆上的 4 个车轮，装到故障车上，试车时异响消失。

仔细检查故障车两前轮胎面，发现从侧面看呈锯齿状，花纹块表面呈梯形磨损，从行驶方向看花纹前端比后端高。调整前轮前束后，把异常磨损的轮胎放到后轮，异响明显减轻。本故障原因为前轮前束不正常造成轮胎偏磨。按奥迪轿车使用要求，车辆每行驶 7500～15000km 应进行前轮定位检查，特别是前轮前束的检查和调整，否则就可能造成轮胎异常磨损。根据修理经验，奥迪轿车前轮轮胎异常磨损产生的滚动噪声听起来非常像轴承损坏时发出的噪声，容易造成误判，请修理人员注意。

4. 风噪声维修实例

（1）高速驾驶时右车门周围有噪声

1）用户投诉。高速驾驶时右车门周围有噪声。

2）用户投诉的确认。听到哨声噪声。

3）检查。如图 4-34 所示。

① 检查各处缝隙及部件之间的间隙。

② 后视镜被移动后再驾驶，发现噪声也发生了变化。

③ 应用粘胶带法缩小可能故障区域。

④ 噪声源被认为是后视镜与镜座之间有缝隙。

4）修理。用海绵把缝隙堵上，如图 4-35 所示。

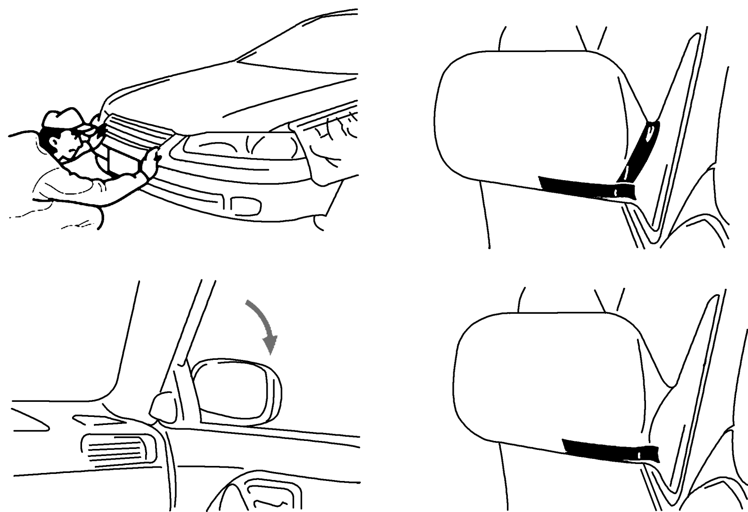


图 4-34　高速驾驶时右车门周围有噪声的检查

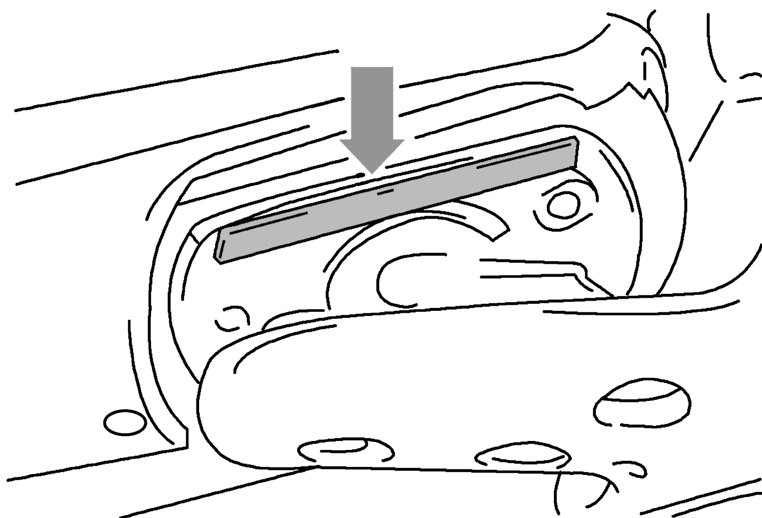


图 4-35　高速驾驶时右车门周围有噪声的修理

（2）从左前门窗玻璃处听到漏气一样的噪声

1）用户投诉。从左前门窗玻璃处听到漏气那样的噪声。

2）用户投诉的确认。听到漏气噪声。

3）检查。如图 4-36、图 4-37 所示。

① 检查车门是否对正，结果正常。

② 检查密封条是否能正常贴紧，结果正常。

③ 驾驶时用推拉法检测，噪声没有变化。

④ 应用粘胶带法，发现噪声消失。

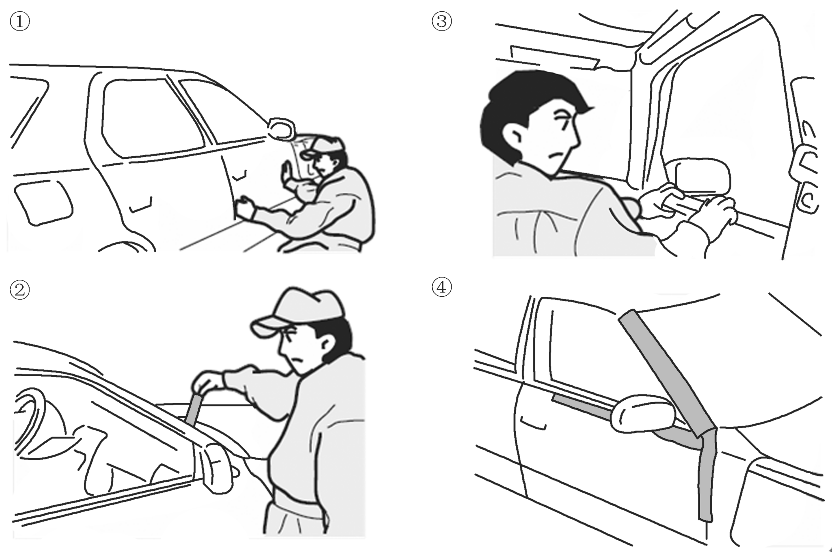


图 4-36　从左前门窗玻璃处听到漏气一样的噪声故障的检查

⑤ 粘胶带范围尽量缩小，以找出具体噪声部位。

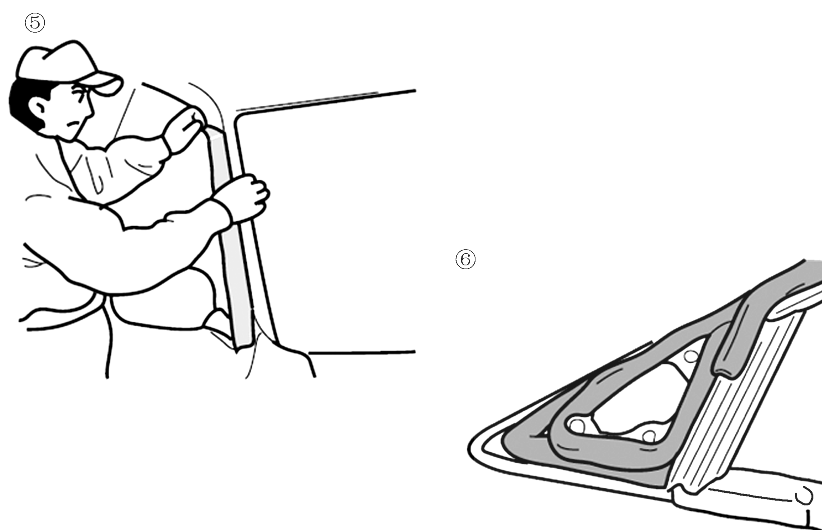


图 4-37　用粘胶带尽量缩小故障范围

⑥ 拆卸部件。拆下车门框上的饰件，发现使用的海绵填料质量较差。

4）修理。如图 4-38 所示，重新用海绵填料填充。

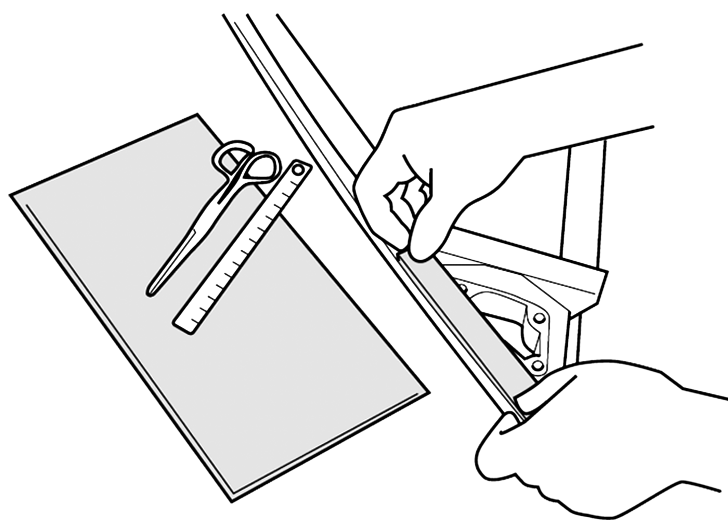


图 4-38　用海绵填料的方法排除故障

汽车故障分析详解丛书

◇ 汽车发动机故障分析详解

◇ 汽车底盘故障分析详解 上册

◆ 汽车底盘故障分析详解 下册

QICHE DIPAN GUZHANG FENXI XIANGJIE

策划编辑：齐福江
封面设计：王伟光

上架指导：交通运输/汽车部件维修

地址：北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心：(010)88361066
销 售 一 部：(010)68326294
销 售 二 部：(010)88379649
读者服务部：(010)68993821

邮政编码：100037
网络服务
门户网：http://www.cmpbook.com
教材网：http://www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版



ISBN 978-7-111-31190-4
定价：45.00元